

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**EFFECTO DEL USO DE ACEITES COMO ADITIVOS NUTRICIONALES
SOBRE LA PERFORMANCE ANIMAL DE NOVILLOS PASTOREANDO
SORGO FORRAJERO DURANTE EL VERANO**

por

**César Francisco ECHENIQUE VALENZUELA
Karol ROTH WALLER**

**Trabajo final de grado
presentado como uno de los
requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo**

**PAYSANDÚ
URUGUAY
2026**

Este Trabajo Final de Grado se distribuye bajo licencia
“Creative Commons **Reconocimiento – No Comercial – Sin Obra Derivada**”.



PÁGINA DE APROBACIÓN

Trabajo final de grado aprobado por:

Director/a:

Ing. Agr. (Dr.) Álvaro Simeone

Ing. Agr. (Mag.) Natalia Zabalveytia

Tribunal:

Ing. Agr. (Dr.) Álvaro Simeone

Ing. Agr. (Dra.) Stefania Pancini

Dr. Vet. (Mag.) Juan Franco

Fecha: 16 de marzo de 2026

Estudiante:

César Francisco Echenique Valenzuela

Karol Roth Waller

AGRADECIMIENTOS

A nuestra familia por su apoyo incondicional durante el proceso y por confiar siempre en nosotros.

A nuestros amigos por los recuerdos generados y acompañarnos estos cinco años de carrera.

A la Facultad de Agronomía y la Estación Experimental “Mario A. Cassinoni” por la oportunidad y el espacio para formarnos.

Al grupo de tesistas de la UPIC del verano 2025 y a los funcionarios del sector de ganadería, especialmente a Diego Mosqueira.

A nuestros tutores Álvaro Simeone y Natalia Zabalveytia por la guía a lo largo de este trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

PÁGINA DE APROBACIÓN.....	3
AGRADECIMIENTOS.....	4
LISTA DE TABLAS Y FIGURAS	7
RESUMEN.....	9
ABSTRACT	10
1 INTRODUCCIÓN	11
1.1 OBJETIVO GENERAL	12
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	13
2.1 PROBLEMÁTICA DE LAS PASTURAS EN VERANO.....	13
2.2 INSERCIÓN DEL SORGO FORRAJERO EN LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN	14
2.3 ESTRÉS TÉRMICO Y ESTRATEGÍAS DE MITIGACIÓN	17
2.4 ANTECEDENTES NACIONALES	20
2.5 USO DE ACEITES ESENCIALES COMO ESTRATEGIA.....	22
2.6 HIPÓTESIS	25
3 MATERIALES Y MÉTODOS	26
3.1 PERIODO Y ÁREA EXPERIMENTAL	26
3.1.1 Suelo.....	26
3.1.2 Animales y tratamientos	26
3.1.3 Pastura y suplemento	27
3.2 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.....	28
3.2.1 Periodo de acostumbramiento	28
3.2.2 Manejo del pastoreo y suplementación	28
3.3 REGISTRO, MEDICIONES Y MUESTREOS	29
3.3.1 Disponibilidad de materia seca y altura de forraje	29
3.3.2 Rechazo y altura del remanente.....	29
3.3.3 Peso vivo	29
3.3.4 Consumo de suplemento.....	29
3.3.5 Patrón de comportamiento ingestivo y tasa de bocado	30
3.3.6 Indicadores fisiológicos de estrés por calor.....	30
3.3.7 Digestibilidad	30
3.3.8 Registros meteorológicos	31

3.4	VARIABLES CALCULADAS.....	31
3.4.1	Ganancia media diaria.....	31
3.4.2	Eficiencia de conversión.....	31
3.4.3	Utilización de pastura.....	31
3.4.4	Índice de estrés calórico.....	31
3.5	ANÁLISIS QUÍMICOS.....	32
3.6	ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	32
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	36
4.1	REGISTROS METEOROLÓGICOS.....	36
4.2	CARACTERÍSTICAS DE LA BASE FORRAJERA.....	41
4.3	COMPORTAMIENTO ANIMAL.....	47
4.3.1	Comportamiento ingestivo.....	47
4.3.2	Indicadores de estrés térmico en el animal.....	51
4.4	CONSUMO Y PERFORMANCE ANIMAL.....	57
4.5	DISCUSIÓN GENERAL.....	63
5	CONCLUSIONES.....	65
6	BIBLIOGRAFÍA.....	66

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

Tabla 1 Valor nutritivo del forraje ofrecido de sorgo forrajero para pastoreo	16
Tabla 2 Valor nutritivo de forraje ofrecido de sorgo forrajero para pastoreo	16
Tabla 3 Puntuación para el score de jadeo en bovinos	18
Tabla 4 <i>Resultados nacionales de experimentación sobre performance de novillos pastoreando verdeos de verano</i>	21
Tabla 5 Composición química de DDGS de maíz utilizado en el experimento	27
Tabla 6 Composición de la mezcla de aceites esenciales utilizada en el experimento..	27
Tabla 7 <i>Registros climáticos promedios mensuales para el periodo experimental y datos históricos mensuales</i>	37
Tabla 8 Características del sorgo forrajero en cuanto a ofrecido, remanente, asignación de forraje y utilización.....	41
Tabla 9 Composición química del forraje ofrecido, de muestras compuestas de inicio, mitad y fin del experimento.....	44
Tabla 10 Digestibilidad de la materia seca promedio por tratamiento	45
Tabla 11 Digestibilidad de la materia seca promedio por tratamiento de cada semana	45
Tabla 12 <i>Probabilidad de tiempo promedio dedicado a cada actividad de comportamiento por tratamiento</i>	47
Tabla 13 Tasa de bocado de la mañana y de la tarde promedio de cada tratamiento	50
Tabla 14 <i>Tasa de bocado promedio de la mañana y tarde por tratamiento y semana de evaluación</i>	51
Tabla 15 <i>Efecto tratamiento en la frecuencia respiratoria promedio en los diferentes horarios de medición</i>	52
Tabla 16 Frecuencia respiratoria por tratamiento, para cada horario y semana de medición	53
Tabla 17 <i>Efecto tratamiento en la temperatura rectal promedio</i>	54
Tabla 18 <i>Porcentaje de animales por tratamiento con diferente score de jadeo según semana de medición</i>	57
Tabla 19 Consumo promedio de forraje, suplemento y total del alimento para cada tratamiento	58
Tabla 20 Efecto de los tratamientos sobre las principales variables asociadas a la performance animal	62
Figura 1 Distribución porcentual de los días, según valor de ITH para el periodo experimental	38
Figura 2 Registro horario del ITH para los días del experimento	40
Figura 3 Evolución semanal de la disponibilidad de forraje pre-pastoreo de los diferentes tratamientos del experimento.....	43
Figura 4 Evolución semanal de la utilización del forraje.....	46
Figura 5 Proporción del tiempo dedicado a cada actividad e ITH promedios para las semanas de medición	49

Figura 6 Temperatura rectal promedio para ambas semanas de medición.....	55
Figura 7 <i>Temperatura rectal promedio por tratamiento según semana de medición...</i>	56
Figura 8 Evolución del peso vivo de novillos de los diferentes tratamientos del experimento	60

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto del uso de aceites esenciales como aditivo nutricional junto con la suplementación con granos secos de destilería (DDGS) sobre la performance, el comportamiento ingestivo e indicadores fisiológicos asociados al estrés calórico en novillos pastoreando sorgo forrajero durante el verano. El experimento se realizó en la Estación Experimental Mario A. Cassinoni, Paysandú, Uruguay entre el 16 de enero y el 13 de marzo de 2025 (56 días). Setenta y dos novillos Hereford de $285 \pm 36,7$ kg de peso vivo (PV) fueron bloqueados por PV y asignados al azar a tres tratamientos (3 repeticiones/tratamiento; 8 animales/repetición): 1) pastoreo sin suplementación (Testigo); 2) pastoreo con suplementación de DDGS al 0,5 % del PV; 3) pastoreo con suplementación de DDGS al mismo nivel, más una mezcla de aceites esenciales. Los animales pastorearon sorgo forrajero bajo pastoreo rotativo, con una oferta de forraje de 8 kg MS/100 kg de PV en 28 días y de 10 kg MS/100 kg de PV en los 28 días finales, con encierro diurno con agua y sombra entre las 10:00 y 17:00 hs. Los resultados indicaron que los novillos pastoreando sorgo forrajero en ausencia de suplementación durante el verano lograron ganancias de peso cercanas al mantenimiento (0,070 kg/d). La suplementación con DDGS al 0,5 % del peso vivo permitió mejorar significativamente ($P < 0,001$) la performance productiva, incrementando la ganancia media diaria (0,620 kg/d), efecto atribuido principalmente al mayor aporte energético y proteico del suplemento (respuesta a la suplementación de 0,545 kg/d), encontrándose una eficiencia de conversión promedio del suplemento de 2,73:1, sin diferencias entre tratamientos suplementados ($P > 0,05$). Por otra parte, las mediciones fisiológicas y de comportamiento sugieren que, bajo las condiciones del experimento en donde el 87% del periodo experimental se encontró bajo riesgo de estrés calórico, los aceites esenciales no contribuyeron a mejorar el confort térmico de los novillos durante el período estival, dado que no se vio una respuesta clara a favor de los tratamientos que lo incluyeron. En este contexto, el uso de un aditivo compuesto por cinamaldehído, ácido silícico, mono y diglicéridos de ácidos grasos y alicina (en proporción 43, 37, 13 y 7% respectivamente), no mostró beneficios productivos ni fisiológicos claros adicionales en las condiciones evaluadas.

Palabras clave: novillos, estrés térmico, sorgo forrajero, suplementación, aceites esenciales

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effect of using essential oils as a nutritional additive, together with supplementation with dried distiller's grains (DDGS), on performance, ingestive behavior, and physiological indicators associated with heat stress in steers grazing forage sorghum during the summer. The experiment was conducted at the Mario A. Cassinoni Experimental Station, Paysandú, Uruguay, between January 16 and March 13, 2025 (56 days). Seventy-two Hereford steers with an average body weight (BW) of 285 ± 36.7 kg were blocked by BW and randomly assigned to three treatments (3 replicates per treatment; 8 animals per replicate): grazing without supplementation (Control); grazing with DDGS supplementation at 0.5% of BW; and grazing with DDGS supplementation at the same level plus a mixture of essential oils. Animals grazed forage sorghum under a rotational grazing system, with a forage allowance of 8 kg DM/100 kg BW during the first 28 days and 10 kg DM/100 kg BW during the final 28 days, and were housed during daytime with access to water and shade between 10:00 and 17:00 h. Results indicated that steers grazing forage sorghum without supplementation during summer achieved weight gains close to maintenance (0.070 kg/day). Supplementation with DDGS at 0.5% of BW significantly improved ($P < 0.001$) productive performance, increasing average daily gain (0.620 kg/day), an effect mainly attributed to the greater energy and protein supply from the supplement (supplementation response of 0.545 kg/day), with an average feed conversion efficiency of 2.73:1 and no differences among supplemented treatments ($P > 0.05$). Physiological and behavioral measurements suggest that, under the experimental conditions—where 87% of the experimental period was classified as being at risk of heat stress—essential oils did not contribute to improving thermal comfort in steers during the summer, as no clear positive response was observed in treatments including them. In this context, the use of an additive composed of cinnamaldehyde, silicic acid, mono- and diglycerides of fatty acids, and allicin (in proportions of 43, 37, 13, and 7%, respectively) did not show additional clear productive or physiological benefits under the evaluated conditions.

Keywords: steers, heat stress, forage sorghum, supplementation, essential oils

1 INTRODUCCIÓN

A nivel nacional los sistemas de producción ganaderos tienen su base alimenticia a partir de pasturas, tanto sembradas como naturales, las cuales sufren variaciones de productividad y calidad a lo largo de las estaciones, siendo uno de sus momentos críticos el verano en el que decaen producción y calidad (Simeone & Beretta, 2022), además que se puede ver perjudicada la persistencia de la pastura por el pastoreo excesivo. Sumado a esto, el propio ambiente climático de la estación puede agravar la situación de producción animal cuando se detectan índices de temperatura y humedad que nos indican que el animal se encuentra bajo estrés calórico (St-Pierre et al., 2003).

Una alternativa para levantar esa limitante de producción de forraje es la inclusión de una especie C4 como lo es el sorgo forrajero (*Sorghum spp.*) en el sistema, el cual, por su propio metabolismo tiene una ventaja en el verano, con respecto a las especies que dominan las mezclas de praderas en Uruguay; lo que permite aumentar la disponibilidad de forraje, y con ello aumentar la carga del sistema, entre 4 a 6 UG/ha (Rovira & Echeverría, 2013).

Si bien esta estrategia contribuye a aumentar la capacidad de carga del sistema, desde el punto de vista nutricional las ganancias promedio esperadas en novillos de sobreño se sitúan en el entorno de 0,400 kg/día (Beretta et al., 2019). El uso de sombra y utilización de diferentes tipos de suplementos han sido tecnologías evaluadas para mejorar la ganancia de peso vivo, permitiendo tener un incremento de la ganancia media diaria (GMD) de un 35% mayor cuando a los animales que pastorean sorgo se le permite acceso a sombra, y de 83% mayor para los que además se les suministra suplemento, durante la estación de verano. El suplemento que se destaca en varios estudios mostrando mejores respuestas que los cereales son los granos de destilería secos con solubles (DDGS por su sigla en inglés), además ha demostrado corregir dietas desbalanceadas en proteína, lo cual es resultado no solo del mayor aporte proteico de este alimento, que mejora la digestibilidad ruminal del forraje y aumenta el consumo de este, sino también de los efectos directos de adición del uso del suplemento (Beretta et al., 2019).

Por otro lado, se ha empezado a investigar en el uso de aceites esenciales (AE) como herramienta alternativa y/o complementaria a la sombra con el fin de mitigar el estrés calórico y de mejorar la performance animal individual, ya que existe un potencial efecto de vasodilatación por la inclusión de estos en la dieta, lo que se podría traducir en

mantener el confort térmico del animal, así como mantener su crecimiento y rendimiento en condiciones de estrés calórico (Wells, 2024). En este sentido, este trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de la suplementación con DDGS y aceites esenciales sobre la mitigación del estrés por calor y el desempeño animal estival pastoreando sorgo forrajero.

1.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de la suplementación con DDGS y aceites esenciales sobre la mitigación del estrés por calor y el desempeño animal estival, en novillos pastoreando sorgo forrajero.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Caracterizar el patrón de evolución de peso vivo durante el verano de novillos pastoreando sorgo forrajero con o sin suplementación energético-proteica.

Cuantificar el efecto del uso de aceites esenciales sobre la utilización del forraje y la eficiencia de conversión del suplemento.

Caracterizar el patrón de comportamiento animal en cada tratamiento y parámetros de estrés térmico como variables interpretativas de la respuesta observada.

2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 PROBLEMÁTICA DE LAS PASTURAS EN VERANO

En los sistemas de producción de carne del Uruguay, basados en recría e invernada sobre pasturas sembradas, se ha constatado una disminución en la productividad durante el verano, asociado principalmente a una baja en la producción y calidad del forraje disponible (Simeone & Beretta, 2022), sumado a factores ambientales como alta radiación solar, temperaturas y humedad relativa que combinados generan estrés calórico al animal, resultando en una reducción en su performance (St-Pierre et al., 2003).

Durante el verano, se ha comprobado una mayor sensibilidad por parte de la pastura a la humedad y a las altas temperaturas, ya que, esta última podría marcar una respuesta al estrés hídrico, debido que, al haber mayores temperaturas, mayor será la evapotranspiración de la misma (Bettolli et al., 2010). La humedad juega un rol limitante para el crecimiento de la pastura, sin ella no se puede cubrir la demanda atmosférica y por lo tanto se encontraría la misma en estrés hídrico (Bettolli et al., 2010). Sumado a esto, la variabilidad climática explica entre el 20% y el 58% de los rendimientos de una pastura, dando las mayores asociaciones en otoño y verano. Los mismos autores aclaran que, en su conjunto, las variables climáticas explican entre el 36% y el 86% de la variabilidad de crecimiento de una pastura.

Por otra parte, la pastura en verano no solo reduce su crecimiento y producción, sino que también disminuye su calidad, su valor nutritivo, generando una disminución en la degradación ruminal del alimento y reduciendo la tasa de pasaje a nivel del tracto gastrointestinal, lo que repercute en el consumo, mediante un mecanismo físico de regulación, y por ende en la performance individual y la productividad por hectárea (Flamenbaum, 1997, como se cita en Kuchman et al., 2022). Además, se ha evaluado que en verano la combinación de escasa área foliar remanente post-pastoreo y días con alta insolación generan un intenso estrés que repercute en muerte de macollos en gramíneas perennes invernales, afectando la persistencia de las pasturas. Durante este periodo estival se deberían de realizar pastoreos de manera que no afecten a la pastura o cierres de los potreros para aliviar el estrés térmico que sufre la misma, y así a principio del otoño se potencie la producción de nuevos macollos (Lattanzi et al., 2022).

2.2 INSERCIÓN DEL SORGO FORRAJERO EN LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN

El sorgo forrajero, como verdeo de verano, surge como una alternativa estratégica para complementar la baja oferta de forraje estival de las pasturas. Su alta producción de forraje permite sostener mayores cargas animales durante el verano y, al mismo tiempo, aliviar las praderas permanentes, favoreciendo su descanso y persistencia (Carámbula, 2007).

Dentro de las alternativas de verano los sorgos híbridos, se caracterizan por tener rusticidad y una amplia adaptabilidad a diferentes ambientes, gran capacidad de rebrote y alta relación hoja/tallo (Carámbula, 2007). Además, constituyen una opción para levantar la limitante estival debido a su alta productividad con valores que pueden alcanzar entre 8000 y 15000 kg de MS por hectárea en este periodo, logrando sostener cargas de 4 a 6 animales por hectárea. Sin embargo, las ganancias medias diarias que se pueden lograr son moderadas (0,40 - 0,60 kg/día) asociado principalmente a desbalances nutricionales de la especie forrajera (Fernández Mayer et al., 2011).

Para suplir los desbalances nutricionales se suelen utilizar sorgos de nervadura marrón (BMR por sus siglas en inglés) que se diferencian de los sorgos convencionales por presentar mayor calidad y digestibilidad (Carrasco et al., 2011). El sorgo BMR presenta una mutación que reduce el contenido de lignina (compuesto de la pared celular no degradable en rumen), incrementando el contenido de compuestos degradables en el rumen y asimilados por el animal, como por ejemplo la celulosa, hemicelulosa, azúcares, almidones, entre otros; y por lo tanto permiten alcanzar una mejor performance individual animal (Demura & Ye, 2010). Por otro lado, se ha desarrollado la tecnología de sorgo foto sensitivo, cuya característica principal es la prolongación de la fase vegetativa de la planta. Esto permite extender la etapa de producción de hojas mediante el retraso del inicio del periodo de floración (Demura & Ye, 2010). Por lo tanto, al presentar un ciclo de desarrollo más largo, estos materiales logran una mayor producción total de forraje, y un periodo de aprovechamiento más prolongado. También existen materiales que combinan ambas tecnologías BMR con foto sensitivo logrando un aumento en la calidad y en la producción de materia seca del forraje durante un periodo extendido de tiempo.

Según los datos generados en la Evaluación Nacional de Cultivares (ENC) realizadas por el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria e Instituto Nacional de

Semillas (INIA & INASE, 2021, 2022, 2023), la producción media en kilogramos de materia seca por hectárea de los cultivares de sorgos forrajeros evaluados fue de 8671, 8215 y 11404 respectivamente, con coeficientes de variación de la producción en porcentaje de 6,1, 6,8 y 6,4 para el mismo orden de años. Por su parte, resultados obtenidos en la Facultad de Agronomía, particularmente en la Unidad de Producción Intensiva de Carne, fueron similares con valores de producción del sorgo forrajero, de 8700 (García Borges et al., 2024), 8834 (Casanova, 2020), 10727 (Kuchman et al., 2022) y 10981 (Acosta et al., 2022) kilogramos de materia seca por hectárea.

En los cultivos forrajeros anuales, y particularmente en el sorgo, el manejo de pastoreo es un aspecto clave, ya que determina el nivel de aprovechamiento y el potencial de rebote del cultivo. Las entradas a pastoreo se realizan con un mínimo de 60-70 cm de altura, lo que coincide con una producción estimada de 2000 kg MS/ha, asegurando un remanente de 15 a 20 cm (Gallarino, 2008).

La altura del forraje remanente del sorgo afecta directamente la producción de hojas en los siguientes pastoreos; cuando los pastoreos son intensos (remanentes de 13cm) provocan una disminución en la producción de materia seca, debido a una reducción del área foliar remanente y de las reservas disponibles. En cambio, en manejos con mayores remanentes (36 cm), es decir, pastoreos menos intensos, permite el rebote a partir de yemas axilares, logrando mayor crecimiento y acumulación de hojas entre pastoreos, este último es más rápido y menos costoso en términos energéticos que el rebote a partir de yemas basales, que ocurre cuando los remanentes son menores (Gabard Cabrera & Russi Piccardo, 2005).

Por otra parte, el sorgo forrajero tiene como limitante el bajo contenido de proteína, la cual no es suficiente para mantener la producción de animales de alto potencial de crecimiento (Carámbula, 2007; Tabla 1 y Tabla 2), además de variaciones en su composición química, y calidad, medida a través de la digestibilidad, la cual decae de forma marcada al avanzar la madurez del cultivo, fundamentalmente cuando se acerca el otoño (Carámbula, 2002).

Tabla 1*Valor nutritivo del forraje ofrecido de sorgo forrajero para pastoreo*

	Proteína cruda	Cenizas	FDA	FDN	Lignina
ENC INIA e INASE 2023	13.6	12.2	32.0	58.5	5.1
ENC INIA e INASE 2022	10.2	12.8	34.4	56.7	6.1
ENC INIA e INASE 2021	9.7	11.5	35.1	56.1	6.3

Nota. Adaptado de la ENC realizado por INIA e INASE (2021, 2022, 2023).

Tabla 2*Valor nutritivo de forraje ofrecido de sorgo forrajero para pastoreo*

A	Proteína cruda	Cenizas	FDA	FDN	EM
1	8.9	13.0	-	62.6	2.3
2	9.6	11.5	27.6	57.0	2.3
3	6.4	7.5	31.2	60.3	-
4	7.3	7.8	31.0	61.4	-

Nota. A: Autores; FDN: fibra detergente neutro; FDA: fibra detergente ácida y EM: energía metabolizable. Elaborado con base en ¹ Casanova (2020), ² Kuchman et al. (2022), ³ García Borges et al. (2024) y ⁴Acosta et al. (2022).

En este contexto, la suplementación se presenta como una estrategia para corregir esta limitante nutricional. Antecedentes nacionales muestran que la suplementación con DDGS en animales que pastorean sorgo forrajero durante el período estival incrementa el consumo de materia seca (MS) (Casanova, 2020). Si bien la inclusión del suplemento provocó modificaciones en el pH ruminal y una disminución de la degradabilidad efectiva de la fibra y de la digestibilidad de la MS y la FDN, se observó un efecto aditivo de la suplementación. El mayor consumo total de MS permitió compensar dichas alteraciones digestivas, resultando en mayores ganancias medias diarias y una mejor eficiencia de conversión en comparación con el tratamiento no suplementado.

2.3 ESTRÉS TÉRMICO Y ESTRATEGÍAS DE MITIGACIÓN

El estrés calórico resulta de un balance negativo entre la energía del animal que se emite hacia el ambiente y la energía que produce el animal (St-Pierre et al., 2003). Este desbalance genera un aumento en la temperatura corporal que activa el eje hipotálamo-hipófisis, provocando un aumento en el consumo de agua, y en consecuencia una disminución en la ingesta de materia seca, lo que resulta de una pérdida de peso y retraso en el crecimiento corporal e incluso puede hasta provocar la muerte animal (Kamal et al., 2018).

El ganado vacuno es capaz de mantener una temperatura corporal dentro de los límites fisiológicos activando mecanismos termorreguladores cuando se encuentra fuera de su zona de confort (zona termoneutral) (Godyń et al., 2019). Cuando se encuentra dentro la zona termoneutral los mecanismos de intercambio de calor son más que suficientes para mantener el equilibrio térmico. Dentro de la zona homeotermia, es decir, cuando aumenta la temperatura ambiente y se supera el límite superior de temperatura corporal animal (38 a 39°C), los animales activan mecanismos de termólisis como lo son la sudoración y el jadeo (Sejian et al., 2018). Si la temperatura ambiental continúa aumentando, el ganado comienza a cambiar su comportamiento, hacia la búsqueda de sombra, aumento del consumo de agua y disminución de la ingesta de alimento (Ratnakaran et al., 2017).

Cuando los animales se enfrentan a condiciones de estrés térmico, como exceso de temperatura y radiación, buscan disipar el calor mediante respuestas fisiológicas como el aumento de la frecuencia respiratoria y de la temperatura rectal (Rashamol et al., 2018), las cuales se utilizan como indicadores del estrés calórico. La respiración consiste en intercambio de oxígeno y dióxido de carbono que es lo que provoca la evaporación y disipación de la humedad del tracto respiratorio del animal para mantenerse en la zona termoneutral (da Silva et al., 2017). Los límites de respiraciones por minutos en *Bos taurus* se encuentran entre 10 a 30 ciclos (Hafez & Dyer, 1972), se ha demostrado que respiraciones mayores a 80 ciclos por minuto son un indicador de alto nivel de estrés (Indu & Pareek, 2015). Por otro lado, la temperatura rectal mide la carga de calor corporal del animal (Koga et al., 2002), los límites de este indicador para *Bos taurus* van entre 38 a 39 °C (Hafez & Dyer, 1972).

Otro indicador utilizado para evaluar el estrés térmico es el score de jadeo (Tabla 3), que asigna diferentes puntuaciones según la intensidad de jadeo observado en el animal. Sin embargo, puede presentar variaciones entre individuos asociadas a las diferencias en la capacidad de disipación del calor, lo que puede reducir su precisión como indicador de estrés (Idris et al., 2021).

Tabla 3
Puntuación para el score de jadeo en bovinos

Score	TR/Min	Características observables
0	máx. 40	Respiración normal, sin jadeo.
1	41-70	Jadeo leve, boca cerrada sin saliva, movimiento del pecho se observa fácilmente.
2	71-120	Jadeo moderado con boca abierta y algo de salivación. Cuello extendido y cabeza en general hacia arriba.
3	121-160	Jadeo más fuerte con la boca abierta y más salivación. Cuello extendido y cabeza en general hacia arriba.
4	mayor a 160	Jadeo con boca abierta, lengua totalmente extendida para afuera, y largos períodos de salivación.

Nota. Score es la categoría correspondiente; mientras que TR/min es tasa respiratoria por minuto. Elaborado a partir de Mader et al. (2002, 2006).

Uno de los indicadores que se utilizan para determinar y anticipar el estrés por calor es el ITH, donde se expresan diferentes combinaciones de temperatura y humedad. El ITH corresponde a la siguiente ecuación: $ITH = (1.8Ta+32)-(0.55-0.55HR/100)x(1.8Ta-26)$; donde Ta es la temperatura del aire (°C) y HR la humedad relativa ambiente (%) (Valtorta & Gallardo, 1996). La definición de categorías de riesgo de estrés por calor según Eigenberg et al. (2005), en base al ITH son: normal ($ITH \leq 74$), alerta ($74 < ITH \leq 79$), peligro ($79 < ITH \leq 84$) y emergencia ($ITH > 84$) para el ganado Bos Taurus.

A través de este índice Cruz y Saravia (2008) caracterizaron el ambiente térmico de Uruguay durante el verano para orientar el manejo animal con relación al riesgo de estrés térmico, en donde en el mes de enero se presenciaron condiciones de ITH superiores a 72 al norte del Río Negro y en el mes de febrero se alcanzaron valores similares de ITH más hacia el norte del país, en donde la escala de referencia utilizada era distinta y los valores se encontraban dentro de zonas potenciales de producir estrés

calórico. Lo mismo realizaron Rovira y Do Carmo (2012) con las variables de temperatura y humedad de la serie de años entre 1973 y 2010, en donde los valores obtenidos coincidieron con Cruz y Saravia (2008).

Para el manejo del estrés por calor existen diferentes tecnologías como el uso de sombra, aspersores, ventilación y estrategias de alimentación. El uso de sombra en los distintos sistemas productivos ganaderos tiene como finalidad disminuir la radiación solar directa que reciben los animales (Simeone et al., 2010). Existen dos tipos principales de sombra: natural y artificial; la natural es la más eficiente, ya que además de reducir la radiación, contribuye a disminuir la temperatura del aire. Como alternativa, se puede utilizar la sombra artificial, la cual debería de cumplir con las siguientes propiedades: alta reflectividad, baja conductividad y transmisión de calor hacia el interior; además, para que el sombreado sea estable durante el día, se debería de disponer en dirección este a oeste así tanto los animales, como las instalaciones de bebederos y comederos son sombreados (Simeone et al., 2010).

Los impactos del uso de sombra a nivel productivo en Uruguay son positivos para la performance animal, se han observado mejoras entre 150 a 250 gramos de ganancia diaria en vaquillonas pastoreando campo natural bajo sombra (Simeone et al., 2010); por otro lado, se destaca el incremento del 17% en términos de performance animal para animales de feedlot, a favor de situaciones con sombra vs. sin acceso a la misma (Simeone & Beretta, 2022).

Otra estrategia de mitigación es asegurar un buen suministro de agua a los animales, tanto en cantidad como en calidad, dado que su consumo aumenta en periodos de alta temperatura y humedad; ya que el agua disminuye la temperatura del rumen y, además, gran parte del agua consumida se pierde a través del jadeo (Giraudó, 2003).

La ventilación de los animales permite una disminución del calor por convección, por eso, el aumentar la velocidad del aire aumenta el confort térmico siempre y cuando se combine con una refrigeración del aire, para esto se combina el uso de ventiladores y aspersores; mientras que los aspersores mojan el torso de los animales con agua pulverizada para rebajar la temperatura corporal, con posterior evaporación del agua. El uso de estas estrategias ha sido ampliamente estudiado, tanto individualmente como su uso en simultáneo, mostrando resultados favorables en sus estudios (Callejo, 2014).

Siguiendo la misma línea de razonamiento acerca de intentar mitigar los efectos del estrés por calor y debido a la disminución de la ingesta de alimento que este provoca en los animales, otra alternativa de mitigación es evaluar la dieta ofrecida, modificando niveles de grasa, minerales, vitaminas y calidad y cantidad de la fibra para mantener la producción animal (Renaudeau et al., 2012), y reducir la producción de calor como causa de la fermentación a nivel ruminal de esta última (Baumgard et al., 2014).

Otra estrategia es suministrar una dieta con mejor calidad de proteína, principalmente en términos de proteína no degradable en rumen, lo cual logró influir en la producción de leche de vacas Holstein de manera positiva bajo ambientes de temperatura elevada (Chen et al., 1993). Se podría hipotetizar que en el caso de bovinos de carne aumenten la performance, en términos de ganancia de peso.

2.4 ANTECEDENTES NACIONALES

En Uruguay se han evaluado diferentes estrategias de manejo orientadas a mejorar la performance animal, basadas en el acceso a sombra y la incorporación de la suplementación (Tabla 4).

Tabla 4

Resultados nacionales de experimentación sobre performance de novillos pastoreando verdeos de verano

A	Tratamiento	Supl.	Supl. (%PV)	AF (%)	GMD (kg)	PV inicial (kg)	P (días)	Animales
1	SD SS	-	-	8	0,523	390	70	15
	SD CS	-	-	8	0,617	345	70	15
3	SF SS	-	-	8	0,384	268	64	12
	DDGS maíz y							
	SF SS	trigo	1	8	1,385	263	64	12
	SF CS	-	-	8	0,574	260	64	12
4	DDGS maíz y							
	SF CS	trigo	1	8	1,267	264	64	12
5	SF CS y SS	DDGS	1	8	0,928	267	49	12
	SF CS y SS	-	-	8	0,460	267	49	12
2	SF CS	-	-	8	0,554	242	85	12
	SF CS	Lupino	<i>ad libitum</i>	8	0,971	242	85	12
2	SF CS	Lupino	1	8	0,905	272	67	18
	SF CS	Lupino	1	8	0,999	271	67	18
	SF CS	-	-	8	0,229	263	67	18

Nota. A: autores; SF: sorgo forrajero; SD: Sudán; SS: sin sombra; CS: con sombra; Supl.: suplemento; AF: asignación de forraje; GMD: ganancia media diaria; PV inicial: peso vivo inicial; P: periodo de evaluación. Elaborado a partir de ¹ Kuchman et al. (2022), ² Acosta et al. (2022), ³ Tagliani y Taño (2021), ⁴ Casanova (2020) y ⁵ García Borges et al. (2024).

De los antecedentes mencionados, se estimaron promedios de ganancia media diaria para los diferentes tratamientos, donde se pueden observar ganancia media diaria de peso vivo de 0,400 kg/día, 0,541 kg/día y 0,989 kg/día para tratamientos solo pastoreo,

con acceso a sombra, y acceso a sombra más suplemento respectivamente. Esto representa un impacto de mejora de 35% por uso de sombra respecto a los tratamientos en los cuales los animales no tuvieron acceso a sombra ni suplemento, y de un 83% para el caso de los animales que se les suministro una suplementación y además tenían acceso a sombra. A su vez, se destaca el valor medio de respuesta producto de la suplementación de los animales a razón del 1% del PV, lo que representa 1 kg de suplemento cada 100 kg de peso vivo del animal, o de suplementaciones *ad libitum* hacia los animales, de 0,448 kg/día. Siendo el DDGS el suplemento que tiene mayor impacto positivo en la variable ganancia media diaria de los animales, con excelente eficiencia de conversión de este (3,31:1, Beretta et al., 2019).

Si bien la mayoría de los experimentos se centran en el uso de sombra y de la suplementación del ganado de carne como tecnologías para mejorar la producción de los sistemas, existe una gran limitante respecto a la cantidad de artículos que intenten evaluar el uso de aceites esenciales para potenciar la performance animal y la posibilidad de mitigar el estrés calórico.

2.5 USO DE ACEITES ESENCIALES COMO ESTRATEGIA

Los aceites esenciales (AE) son metabolitos secundarios asociados a plantas definidas como hierbas o especias. Estos son extraídos de las plantas por métodos de destilación. Muchos AE tienen efectos bactericidas y bacteriostáticos dependiendo de la dosis, estos efectos se dan sobre bacterias, hongos, virus y protozoos (Davidson & Naidu, 2000; Smith-Palmer et al., 1998).

Wells (2024), en su revisión sobre los efectos de los aceites esenciales en características de relevancia económica en rumiantes, hace referencia a que existen diferentes tipos de estos compuestos que han tenido efecto demostrado en ayudar a que los animales mantengan el crecimiento y su rendimiento en condiciones de estrés calórico, mejorando el bienestar animal. Los AE nombrados son extraídos de plantas como la canela, clavo de olor, menta, cilantro, comino, hierba de limón y el que más se destaca es la capsaicina destilada de los pimientos picantes.

Se ha estudiado que estos compuestos pueden desestabilizar la membrana celular de algunos microorganismos, esto podría mejorar la eficiencia de conversión de alimentos en los rumiantes, ya que cambiaría el perfil de la fermentación ruminal a través de la

modificación de la estructura de la población microbiana, por esto, se ha visto como una alternativa para reemplazar a los promotores de crecimiento, mejorar la producción y reducir la contaminación ambiental. En rumiantes, la capacidad antimicrobiana es mayor en aceites esenciales que contienen mayor concentración de componentes como lo son carvacrol y timol, estos parecen actuar inhibiendo selectivamente a una parte de la población microbiana ruminal resultando de una reducción de las pérdidas energéticas y/o proteicas (Castillejos Velázquez, 2005). Además, Cosentino et al. (1999), concluyó que los fenoles carvacrol y timol provenientes del tomillo presentaron la actividad antimicrobiana más potente contra todas las cepas bacterianas probadas en su experimento.

Se ha podido comprobar que el uso de aceites esenciales tiene la capacidad de afectar a bacterias del tipo Gram positivas por tener una membrana más permeable que las del tipo Gram negativas. Se ha estudiado que el Timol, es capaz de afectar la fermentación microbiana, inhibiendo o reduciendo la misma, lo cual afecta directamente al pH ruminal, generando que este sea mayor y provocando también una mayor producción de ácidos grasos con un perfil diferente de los mismos, obteniéndose una mayor proporción de propionato. De la mano de esto también se ha visto una menor concentración de amoníaco (Evans & Martin, 2000).

Dentro de los aceites esenciales, la capsaicina se destaca como un activador del receptor vanilloide, el que está presente en diversos tipos de tejidos por el cuerpo, y puede provocar múltiples reacciones; cuando la capsaicina actúa sobre el animal tiene la capacidad de producir la vasodilatación, el cual actúa como un mecanismo de termorregulación, permitiendo la disipación del calor. El uso de este compuesto en las dietas animales podría ayudar a mantener y mejorar el confort térmico de los mismos, pudiendo llegar a tener resultados productivos positivos (McCarty et al., 2015). Los mismos autores también encontraron que el mencionado compuesto puede tener efectos sinérgicos cuando se usan en conjunto con otro tipo de aceites esenciales, como timol, eugenol y carvacrol, resultando en mejores eficiencias alimenticias al tener un mejor perfil de ácidos grasos en esos animales.

Un estudio publicado por Abulaiti et al. (2021), con niveles crecientes de inclusión de capsaicina (4 tratamientos: control, 20, 40 y 60 mg de capsaicina por kg de ración mixta) detectó una mayor producción de leche a los 20 días y mayor contenido de grasa

en la misma, en vacas con estrés por calor, lo cual se puede atribuir al agregado de este aceite esencial y su efecto en mejorar la utilización de proteínas al mejorar la eficiencia ruminal.

Otro de los aceites esenciales que se mencionan en las diferentes bibliografías es el cinamaldehído, compuesto proveniente de la canela; Daning et al. (2020), evaluaron mezclas de aceites esenciales que contienen este compuesto utilizado para vacas lecheras, el cual se constató que reduce la población de protozoos, bacterias proteolíticas, metanogénicas y bio-hidrogenasas, lo que se traduce en una mejora en la fermentación ruminal y una reducción en la metanogénesis. Además, otros investigadores, observaron que este compuesto junto con los provenientes de otros aceites esenciales aumentaba el consumo de materia seca y la producción de leche de ganado lechero (Tekippe et al., 2013). Estas investigaciones se pueden extrapolar a una mejora en la fermentación ruminal y en la producción del ganado bovino de carne.

Por otra parte, Blanch et al. (2016), en su estudio investigaron la misma formulación de AE utilizadas en nuestro experimento encontrando que, para vacas lecheras mejoraba numéricamente la eficiencia alimenticia sin diferencias estadísticas con los demás tratamientos, y mejoraba el perfil de ácidos grasos volátiles producidos en la fermentación ruminal, con diferencias significativas en producción de propionato a favor de los tratamientos que se les suministraban estos compuestos; lo cual podría reflejar una mejor eficiencia en la fermentación ruminal que conlleva a una menor producción de calor. Esto a su vez, es acompañado por una menor producción de metano por parte de los animales de este tratamiento.

No solo se destaca el potencial de los compuestos en causar efectos benéficos, sino también las limitaciones que existen, dado la gran cantidad de compuestos descubiertos, existiendo más de 3000, además de su uso en diferentes mezclas y proporciones, lo que complejiza la posibilidad de identificar tipo y dosis con la respuesta observada.

Sin embargo, en base a lo presentado anteriormente, se destacan dos estrategias para hacer frente a los efectos del estrés por calor. La primera es el uso de AE con capacidad vasodilatadora, como por ejemplo la capsaicina, como un mecanismo más

directo; mientras que la segunda estrategia consiste en el uso de AE que tendrían efectos modificando el perfil de los productos de la fermentación ruminal.

En base a que ya se ha estudiado y comprobado el efecto positivo del uso de sorgo forrajero en verano como alternativa alimenticia para el pastoreo, así como la suplementación de animales con DDGS y la implementación de sombra, los cuales combinados generan una ventaja en la producción animal; se pretende con este experimento evaluar el uso de aceites esenciales en la dieta animal en conjunto con el DDGS actuando como vehículo en su suministro, ofrecido en un nivel de suplementación menor (0,5%PV), con el fin de generar información acerca del uso de los mismos, dada la escasez de información disponible en el tema, y corroborar los resultados de la investigación existente.

2.6 HIPÓTESIS

La suplementación energético-proteica con DDGS mejora la ganancia diaria de novillos pastoreando sorgo forrajero en comparación con animales testigo no suplementados, a través de un mayor consumo total de materia seca.

Ante situaciones de estrés calórico, el uso de aceites esenciales junto con la suplementación de DDGS mejorará la ganancia de peso vivo y la eficiencia de conversión del suplemento en relación con aquellos que sólo reciben una suplementación energética-proteica. Esta respuesta estará asociada a modificaciones en el comportamiento ingestivo y cambios fisiológicos que mejoran el confort térmico del animal.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 PERIODO Y ÁREA EXPERIMENTAL

El experimento se llevó a cabo entre el 13 de enero y el 13 de marzo de 2025 en el potrero 3 de la Unidad de Producción Intensiva de Carne (UPIC), ubicada en la Estación Experimental Mario A. Cassinoni (EEMAC) (32°23' 20.922" S; 58° 2'52.282" W) de la Facultad de Agronomía, en el departamento de Paysandú.

3.1.1 Suelo

El área experimental se encuentra ubicada sobre la unidad de suelo San Manuel, desarrollada sobre la Formación Fray Bentos. Los suelos dominantes corresponden a Brunosoles Eutricos Típicos (Háplicos), asociados con Brunosoles Eutricos Lúvicos y Solonetz Solodizado Melánico, según la Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay (Altamirano et al., 1976).

Se utilizó un corral provisto de comederos y bebederos con sombra fija instalada en el centro de este.

3.1.2 Animales y tratamientos

El experimento se llevó a cabo con 72 novillos de la raza Hereford (285 kg \pm 36,7 kg), nacidos en la primavera de 2023, pertenecientes al rodeo de la EEMAC.

Los animales fueron bloqueados por peso vivo (PV), en tres bloques (liviano, mediano y pesado) y asignados aleatoriamente a uno de los tres tratamientos:

- Pastoreo de sorgo forrajero sin acceso a suplemento (Testigo)
- Pastoreo de sorgo forrajero con suplementación de DDGS a razón de 0,5 kg/100 kg de PV en base seca (DDGS).
- Pastoreo de sorgo forrajero con suplementación de DDGS a razón de 0,5 kg/100 kg de PV en base seca más el agregado de 1 gramo/animal/día de una mezcla comercial de aceites esenciales (DDGS + AE).

Cada tratamiento contó con tres repeticiones, cada una de ellas conformada por ocho animales, pastoreando parcelas independientes por repetición.

3.1.3 Pastura y suplemento

Se utilizaron 12 hectáreas de sorgo forrajero, cultivar Gentos 135 BMR foto sensitivo, sembrado en siembra directa con una densidad de 25 kg/ha el 15 de noviembre de 2024. Se realizó una fertilización basal inicial a siembra de 100 kg/ha de fosfato di amónico sin aplicaciones posteriores.

El barbecho químico se inició, 15 días antes de la siembra, con una aplicación de 3.5 litros/ha de Glifosato, 1 litros/ha de 2.4-D Amina y 0.12 litros/ha de Clopiralid. Al momento de la siembra se realizó una aplicación de 2.5 litros/ha de Glifosato, 1.2 litros/ha de Metolaclor y 0.12 litros/ha de Picloram.

El pastoreo de sorgo inició el 9 de enero (55 días post siembra), una semana previa al inicio del experimento, permitiendo la adaptación de los animales. El 16 de enero comenzó el periodo experimental.

El suplemento utilizado fue DDGS de maíz (Tabla 5) y una mezcla comercial de aceites esenciales (Next Enhance® 300, comercializada por INSALCOR SA), en base a extractos de ajo y canela (Tabla 6).

Tabla 5

Composición química de DDGS de maíz utilizado en el experimento

	MS (%)	PC (%)	FDN (%)	FDA (%)	Aceites y grasas (%)	C (%)
DDGS	89,7	27,6	31,9	8,9	10,8	4,4

Nota. Todos los valores están expresados como proporción de la Materia seca (MS). Proteína cruda (PC), Fibra detergente neutro (FDN), Fibra detergente ácido (FDA), Cenizas (C). Elaborado en base a de Blas et al. (2019).

Tabla 6

Composición de la mezcla de aceites esenciales utilizada en el experimento

Ingredientes	g/Kg	%
Cinamaldehído	430	43
Ácido silícico	370	37
Mono y diglicéridos de ácidos grasos	130	13
Aceite de ajo	70	7

Nota. Elaborado con base en INSALCOR S.A. (comunicación personal, 16 de junio, 2025).

3.2 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

3.2.1 Periodo de acostumbramiento

Los animales seleccionados para el experimento fueron separados según tratamiento, que previo a la fase experimental tuvieron un período de acostumbramiento, el cual duró 7 días y consistió en pastoreo de sorgo forrajero al 8% de asignación de forraje en una franja de ocupación semanal y un encierre entre las 10:00 hs y las 17:00 hs, en el momento de encierre a los tratamientos correspondientes se los suplemento con DDGS de Maíz a razón de 0,5 kilogramos por animal por día, el cual se incrementó en la misma proporción hasta llegar al 0,5% del peso vivo en base seca. Al finalizar el período de acostumbramiento y para iniciar el experimento se realizó la sanidad antiparasitaria con Ivermectina a razón de 6 mL por animal.

Durante el encierre diurno los animales eran ubicados en un corral de piso de tierra, con sombra, dividido en 9 unidades, cada una provista de bebedero y comedero según correspondiera. La sombra instalada en el corral consistía en una malla sombra colocada sobre el mismo a razón de 20m² por bloque y 2,5m² por animal. Por su parte, los bebederos estaban ubicados sobre un extremo del corral, los mismos contaban con un sistema automático, lo que permitía que los animales siempre contarán con disponibilidad de agua para su consumo. Por último, bajo la sombra se ubicaron los comederos de hormigón, los cuales se colocaron 2 por bloque, lo que permitió asegurar un frente de ataque de 31 cm/animal.

3.2.2 Manejo del pastoreo y suplementación

Se llevó a cabo un pastoreo rotativo en franjas semanales con una oferta de forraje (OF) de 8 kg/100 kg de PV animal hasta la cuarta semana inclusive y a partir de la quinta semana se modificó a una oferta de forraje (OF) de 10 kg/100 kg de PV animal, ajustando el tamaño de parcela en base al último PV (vacío) registrado y a la biomasa de materia seca disponible para cada repetición. El suministro de la suplementación se realizó durante el horario de encierro (entre las 10:00 y las 17:00 hs) a la sombra, en el horario de las 11 hs para los tratamientos correspondientes. El suplemento se pesó diariamente y la cantidad ofrecida de DDGS se ajustó al 0,5% del PV, en base al peso registrado promedio de la última pesada (realizadas cada 14 días) sin considerar la proyección de ganancia en el periodo entre pesadas. El suministro diario de aceite fue de 1g fijo por

animal para todo el periodo experimental, mezclado con DDGS; el mismo comenzó su suministro el primer día del experimento.

Los animales pastorearon sorgo forrajero de su primer ciclo de utilización, excepto en las semanas 5 a la 8, donde se utilizaron parcelas de rebrote, correspondiente al segundo pastoreo.

3.3 REGISTRO, MEDICIONES Y MUESTREOS

3.3.1 Disponibilidad de materia seca y altura de forraje

La disponibilidad de forraje se determinó semanalmente mediante el método de doble muestreo (Haydock & Shaw, 1975). Se marcó y cortó al ras del suelo con un cuadro de 0.09 m^2 una escala de tres puntos con dos repeticiones por punto de esta. Para determinar la frecuencia de aparición de cada punto de la escala se muestrearon 50 puntos al azar en cada franja. Las muestras de forraje de cada escala fueron secadas en la estufa de aire forzado a 60°C hasta llegar a peso constante entre 48-72 hs, registrando el peso fresco del inicio y el peso seco del final. La altura del forraje se registró en cinco puntos de cada escala utilizada para determinar la biomasa del forraje disponible con una regla centimetrada, registrando el contacto de la hoja viva más alta con la regla.

3.3.2 Rechazo y altura del remanente

Sobre el remanente de cada parcela también se registró biomasa y altura, mediante el mismo procedimiento que se mencionó en el apartado de disponibilidad y altura del forraje.

3.3.3 Peso vivo

Se midió al inicio del experimento y cada 14 días, tras un ayuno de 24 horas solo con acceso a agua, sin orden de ingreso predeterminado, mezclando todos los tratamientos.

3.3.4 Consumo de suplemento

Diariamente se midió el suplemento ofrecido a los animales, así como se pesó el rechazo, para estimar por diferencia el consumo de suplemento real; el cual era corregido por el porcentaje de materia seca de las muestras de DDGS (ofrecido y rechazo) tomadas

cada semana, las cuales se secaron en la estufa de aire forzado a 60°C, y fueron conservadas para posterior análisis químico.

3.3.5 Patrón de comportamiento ingestivo y tasa de bocado

En la semana 4 y 8, durante los días 2 y 6 de cada semana se caracterizó el comportamiento animal mediante observación, registrando las actividades de pastoreo, rumia, descanso, acceso al comedero y al agua en ambos casos. Estas observaciones se realizaron en 4 animales por repetición cada 10 minutos, en el período de horas luz (7:00 a 19:00 h). La tasa de bocado fue medida durante la primera sesión de pastoreo en la mañana y en la de la tarde, registrando el número de bocados realizados en un minuto.

3.3.6 Indicadores fisiológicos de estrés por calor

Durante las semanas de comportamiento ingestivo se midieron tasa respiratoria (TR) a través del número de movimientos del flanco registrados en 60 segundos en los mismos animales observados para comportamiento (4 animales por tratamiento), a la hora del encierro (10:30 hs), a las 14 hs y a la salida del encierro; al mismo momento también se estimó el score de jadeo. A su vez, en las mismas semanas se evaluó la temperatura rectal al momento de cada encierro (10:30 hs) y a la hora de salida al pastoreo (16:30 hs).

3.3.7 Digestibilidad

En las semanas 3 y 7 se realizaron muestreos para la estimación de la digestibilidad aparente de la dieta utilizando las cenizas insolubles en ácido (AIA) como marcador interno. A estos efectos se tomaron muestras de heces directamente desde el recto durante 4 días consecutivos de las semanas 3 y 7 del experimento (Couto et al., 2019). Se recolectaron muestras de heces por parcela tomado directo del recto de los animales, alternando el horario de muestreo entre la mañana y la tarde, coincidiendo con los momentos de entrada o salida del encierro, con el objetivo de representar las variaciones diarias en la excreción. Luego de recolectadas las heces, se pesaron en fresco y se congelaron para su conservación, para posteriormente descongelarlas en 24 horas al aire libre y tomar una submuestra de 500 gramos en base fresca, la cual se secó en la estufa por 168 horas. Paralelamente, se tomaron muestras de forraje consumido para cada semana de medición y en cada parcela mediante la técnica de *hand clipping* (días 1, 2, 3 y 4 de cada semana de medición), simulando el pastoreo en un área adyacente a la parcela (Mattiauda et al., 2013). Luego las muestras fueron pesadas en fresco y secadas por 120

horas en estufa para ser pesadas en seco y obtener por diferencia el porcentaje de materia seca. Todas las muestras fueron molidas en molino de martillo y conservadas para su posterior análisis químico.

3.3.8 Registros meteorológicos

Fueron tomados de la estación meteorológica de la EEMAC los registros de temperatura, HR, velocidad del viento, radiación y lluvia para los meses de enero, febrero y marzo del año 2025 (comunicación personal, 28 de enero, 2026). Este registro permitió estimar el ITH (índice de temperatura y humedad). A su vez, se complementa la información con registros de la misma estación meteorológica para la serie de años comprendida entre 2002 y 2025.

3.4 VARIABLES CALCULADAS

3.4.1 Ganancia media diaria.

La ganancia media diaria se estimó como la pendiente del modelo de evolución del peso vivo animal, ajustado en función del tiempo.

3.4.2 Eficiencia de conversión

La eficiencia de conversión del suplemento se estimó como el cociente entre el consumo de suplemento y la respuesta a la suplementación, y este último se define como la diferencia en ganancia media diaria entre los animales suplementados respecto a los testigos, en función del consumo medio de suplemento por día.

3.4.3 Utilización de pastura

La utilización de forraje se estimó semanalmente a partir del forraje desaparecido en cada parcela, considerado la diferencia entre el forraje disponible y el remanente, y expresado como porcentaje del valor de disponible inicial.

3.4.4 Índice de estrés calórico

El ITH se estimó mediante la siguiente ecuación $(1.8T+32)-(0.55-0.55 HR/100)$ $(1.8T-26)$. Siendo T la temperatura en °C y HR la humedad relativa en % del momento en el que se realizó el experimento.

3.5 ANÁLISIS QUÍMICOS

Las muestras secas de disponibilidad, *hand clipping* y heces fueron molidas en un molino martillo (Wiley mill, 2 mm), para posteriormente realizarse muestras compuestas. Se realizaron 5 muestras compuestas, tres de disponibilidad de forraje en diferentes etapas del experimento y otras dos de *hand clipping* por franja de cada semana de medición. A su vez se realizaron 6 muestras de heces para estimar la digestibilidad de la dieta, una muestra compuesta por tratamiento por semana.

Todas las muestras fueron enviadas a analizar al Laboratorio de análisis químicos de la Facultad de Agronomía, Paysandú. Donde se determinó proteína cruda (PC) (Latimer, 2012; método 984.13), cenizas (Latimer, 2012; método 942.05), fibra detergente neutro (FDN) con amilasa y corregida por cenizas (Van Soest et al., 1991) y fibra de detergente ácido (FDA) corregida por el contenido de cenizas (Van Soest et al., 1991). Los análisis de fibra fueron determinados de forma secuencial (Ankom Fiber Analyzer 200). En las muestras de heces y forraje consumido se determinó la concentración de cenizas (Latimer, 2012; método 942.05) y cenizas insolubles en ácido (Van Keulen & Young, 1977).

3.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

La información experimental fue analizada según un diseño en bloques completos al azar, considerando como unidad experimental cada parcela.

Las variables asociadas a las características del forraje, al consumo tanto de forraje como de suplemento, así como la digestibilidad de la pastura fueron analizadas usando el procedimiento GLIMMIX de SAS, según el modelo:

$$Y_{ijkl} = \mu + T_i + S_j + (T \times S)_{ij} + B_k + \epsilon_{ijkl}$$

Donde:

Y_{ijkl} = variable de respuesta,

μ = media general,

T_i = efecto del i-ésimo tratamiento (Testigo, DDGS, DDGS + AE),

S_j = efecto de la j-ésima semana (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8),

$(TxS)_{ij}$ = efecto de la interacción entre el i-ésimo tratamiento y la j-ésima semana,

B_k = efecto del k-ésimo bloque (Liviano, Medio, Pesado),

ϵ_{ijkl} = error experimental.

Los registros del comportamiento de los animales fueron analizados según el procedimiento GLIMMIX de SAS, y expresados como probabilidad de ocurrencia de las actividades de pastoreo, descanso, rumia, acceso al comedero y al bebedero durante el período de observación.

$$\text{logit}(P_{ijkl}) = \mu + T_i + S_j + (TxS)_{ij} + B_k + A_l$$

Donde:

$\text{logit}(P_{ijkl})$ = probabilidad de ocurrencia de la actividad,

μ = media general,

T_i = efecto del i-ésimo tratamiento (Testigo, DDGS, DDGS + AE),

S_j = efecto de la j-ésima semana (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8),

$(TxS)_{ij}$ = efecto de la interacción entre el i-ésimo tratamiento y la j-ésima semana,

B_k = efecto del k-ésimo bloque (Liviano, Medio, Pesado),

A_l = efecto del l-ésimo animal.

Para la variable eficiencia de conversión del suplemento se utilizó el procedimiento MIXED de SAS, según el modelo:

Eficiencia de conversión

$$Y_{ik} = \mu + T_i + B_k + \epsilon_{ik}$$

Donde:

Y_{ik} = eficiencia de conversión,

μ = media general,

T_i = efecto del i -ésimo tratamiento (Testigo, DDGS, DDGS + AE),

B_k = efecto del k -ésimo bloque (Liviano, Medio, Pesado),

ϵ_{ik} = error experimental.

Para el análisis del peso vivo y estimación de la ganancia media diaria se utilizó un modelo lineal mixto con medias repetidas y efecto temporal cuadrático, utilizando el procedimiento GLIMMIX de SAS, según el modelo estadístico:

$$Y_{ijkl} = \mu + T_i + B_k + \beta_1 \text{días} + \beta_2 \text{días}^2 + (\text{días} \times T)_i + PV_I + A_l + \epsilon_{ijkl}$$

Donde:

Y_{ijkl} = variable de respuesta,

μ = media general,

T_i = efecto del i -ésimo tratamiento (Testigo, DDGS, DDGS + AE),

B_k = efecto del k -ésimo bloque (Liviano, Medio, Pesado),

$\beta_1 \text{días}$ = efecto lineal del tiempo,

$\beta_2 \text{días}^2$ = efecto cuadrático del tiempo,

$(\text{días} \times T)_i$ = interacción tiempo x tratamiento

PV_I = covariable peso vivo inicial,

A_l = efecto del l -ésimo animal,

ϵ_{ijkl} = error experimental.

El efecto de los tratamientos sobre las variables registradas en el animal como tasa de bocado, frecuencia respiratoria, y temperatura rectal, fue estudiado mediante el procedimiento GLIMMIX de SAS, de acuerdo con el siguiente modelo lineal mixto:

$$Y_{ijkl} = \mu + T_i + S_j + (T \times S)_{ij} + B_k + A_l + \epsilon_{ijkl}$$

Donde:

Y_{ijkl} = variable de respuesta,

μ = media general,

T_i = efecto del i -ésimo tratamiento (Testigo, DDGS, DDGS + AE),

S_j = efecto de la j -ésima semana (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8),

$(TxS)_{ij}$ = efecto de la interacción entre el i -ésimo tratamiento y la j -ésima semana,

B_k = efecto del k -ésimo bloque (Liviano, Medio, Pesado),

A_l = efecto del l -ésimo animal,

ϵ_{ijkl} = error experimental.

Se consideró un efecto estadísticamente significativo cuando la probabilidad de error de tipo I fue $\leq 5\%$. Las medias de los tratamientos fueron comparadas mediante contrastes ortogonales evaluándose el efecto de la suplementación (media del testigo vs. media de los tratamientos suplementados), y el efecto de la adición del aceite esencial en la dieta (media del tratamiento DDSG vs. media del tratamiento DDGS + AE).

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 REGISTROS METEOROLÓGICOS

Al realizar la caracterización meteorológica del periodo experimental (Tabla 7) vemos como las temperaturas medias diarias para los meses de enero y febrero, así como la temperatura máxima media para febrero y marzo fueron superiores a los rangos de la serie histórica (SH). Para el caso del ITH este fue mayor en todos los meses del experimento, esto producto de la evolución de las combinaciones de temperatura y humedad para los distintos meses, lo que provocó que este se ubicará por arriba de los valores típicos en los meses de enero y febrero. Las variables como humedad relativa y precipitaciones se ubicaron dentro de valores normales según los valores de la serie histórica y sus desvíos.

Tabla 7

Registros climáticos promedios mensuales para el periodo experimental y datos históricos mensuales

	Enero		Febrero		Marzo	
	2025*	SH**	2025*	SH**	2025*	SH**
Temperatura media (°C)	26,2	25,0 (± 0,9)	25,2	23,7 (± 0,8)	22,1	21,8 (± 1,6)
Temperatura máxima media (°C)	30,7	29,9 (±3,1)	31,6	28,2 (± 2,8)	29,9	26,3 (± 2,9)
Temperatura mínima media (°C)	22,4	20,0 (± 2,8)	20,0	19,6 (± 2,5)	14,7	17,7 (± 3,0)
Humedad relativa (%)	62,8	66,1 (± 9,1)	75,9	70,4 (± 7,1)	80,3	71,7 (± 10,8)
Precipitaciones (mm)	49,2	148,6 (±111,1)	22,0	173,2 (± 167,7)	170,5	149,7 (± 98,3)
ITH	74,8	73,4 (± 1,0)	74,8	71,9 (± 1,3)	70,3	69,1 (± 2,2)

Nota. *2025: datos del año en estudio; **SH: datos de la serie histórica comprendida entre 2002 y 2024. ITH (Índice de temperatura y humedad) = $(1.8 \times T + 32) - (0.55 - 0.55 \times HR / 100) \times (1.8 \times T - 26)$; siendo T = temperatura media (°C) y HR = humedad relativa (%) (Valtorta & Gallardo, 1996). Elaborado en base a Estación meteorológica EEMAC (comunicación personal, 28 de enero, 2026).

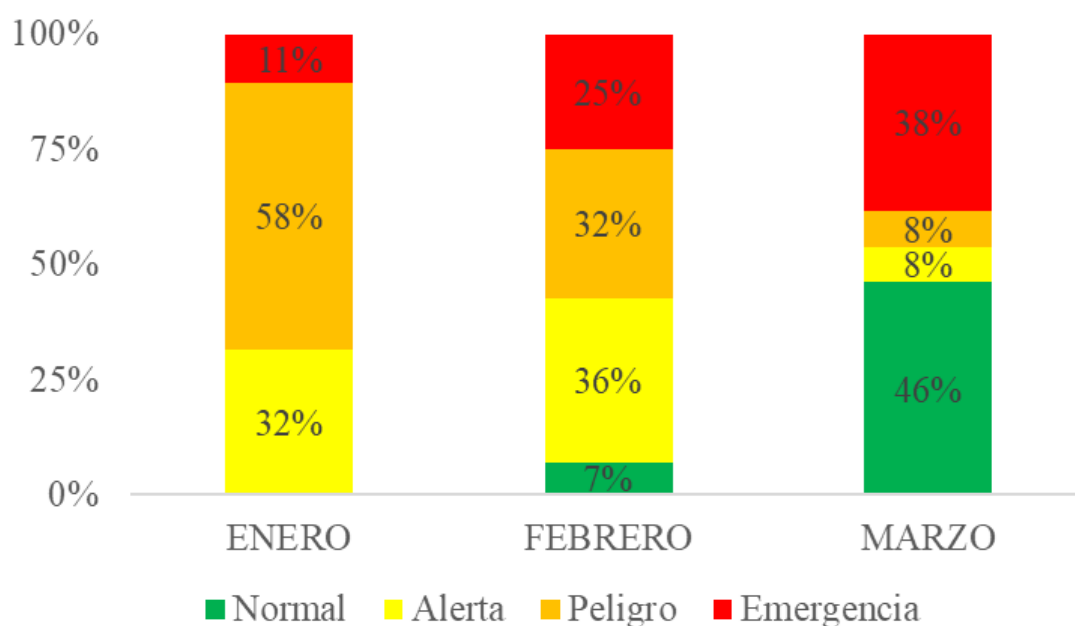
En base a los datos que se presentan anteriormente, los registros meteorológicos durante el período experimental indican que es altamente probable que los animales hayan sufrido estrés térmico, ya que, cuando ocurren temperaturas superiores a 25°C y humedad relativa por arriba del 60%, el ambiente presenta condiciones estresantes para los animales, y dadas condiciones ocurrieron en promedio durante los tres meses abarcados en el experimento (Valtorta & Gallardo, 2003, como se cita en Kuchman et al., 2022). El valor de ITH promedio para los meses de enero y febrero fueron superiores a los valores típicos para la serie histórica de referencia y superaron el mencionado por Eigenberg et al. (2005), el cual indica que los animales entrarían en el rango de alerta (ITH > 74) en

cuanto al riesgo de sufrir estrés calórico. Para corroborar esto, se realizaron desgloses mensuales y diarios del ITH en sus respectivas categorías.

Siguiendo la misma línea, se elaboró la siguiente figura (Figura No. 1), que representa para cada mes del experimento la proporción de días según el ITH promedio registrado, los cuales son clasificados en normal cuando $ITH \leq 74$, alerta si $74 < ITH \leq 79$, peligro para los casos de $79 < ITH \leq 84$ y emergencia en caso de $ITH > 84$ (Eigenberg et al., 2005).

Figura 1

Distribución porcentual de los días, según valor de ITH para el periodo experimental



Nota. Normal ($ITH \leq 74$), alerta ($74 < ITH \leq 79$), peligro ($79 < ITH \leq 84$) y emergencia ($ITH > 84$) son las categorías tomadas de Eigenberg et al. (2005).

A lo largo del transcurso de los meses de verano se observa un aumento en el porcentaje de los días con ITH normal, a la misma vez que aumentan los días con ITH de emergencia, esto último es producto de una humedad relativa para el mes de marzo de un 12% mayor al promedio de la serie histórica, al igual que lo fueron las temperaturas medias máximas para el mismo mes, estando estas 3,6°C por encima de los registros históricos. Es pertinente aclarar que el periodo del experimento abarca el 52% del mes de enero, todo el mes de febrero y el 42% del mes de marzo, por lo que los registros que más impacto tienen son los del mes de febrero.

Complementando esta información e intentando cuantificar el impacto de esta, se calculó el ITH para los días abarcados en el periodo experimental en forma de calendario por día y por hora (Figura No. 2).

En la misma se puede apreciar como la gran mayoría de las horas con ITH por encima del valor normal ocurrieron en el horario de encierre diurno de los animales, el cual fue de 10:30 a 17:00 horas. Sin embargo, fuera de este rango horario también se detectaron valores de ITH mayores al normal, los cuales se concentraron principalmente en las horas de la tarde-inicio de la noche, posterior al horario de encierre.

A su vez, en el mes de marzo se destaca el periodo comprendido en los primeros 7 días del mes en los cuales se puede apreciar la ocurrencia de varios días consecutivos con altos valores de ITH, producto principalmente de las altas temperaturas ocurridas, esta ola de calor abarcó la totalidad del día durante este periodo, lo que provoca que el animal no pueda estar en una zona de confort térmico, aún incluso en horas de la noche donde es más esperable que esto ocurra. Posteriormente las temperaturas bajan desde esa fecha hasta el fin del experimento, generando un lapso en el cual los animales se encontraban fuera de peligro de sufrir los efectos del estrés térmico.

Es permitente entonces destacar la eficiencia de encerrar los animales en el horario establecido dado que el acceso a sombra les permite reducir las condiciones estresantes que predominan en ese horario a pleno sol.

Figura 2
Registro horario del ITH para los días del experimento

ITH	ENERO																															FEBRERO																												MARZO												
	Hora/Día	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13											
0	74	72	75	80	81	81	77	73	72	75	80	84	77	78	77	77	81	80	77	75	74	79	82	78	73	75	79	80	82	82	76	71	76	71	74	72	72	66	73	79	87	76	85	80	80	75	84	84	75	85	80	90	88	84	86	60	58	61	65	50												
1	74	74	76	80	78	76	76	73	70	74	79	84	76	75	76	75	80	78	76	73	75	78	82	79	70	73	79	81	81	80	76	70	75	70	73	70	70	66	72	78	86	76	84	79	80	75	84	84	75	83	81	89	88	82	85	58	56	59	63	48												
2	72	74	76	80	76	77	76	71	68	74	78	83	75	74	75	74	79	77	75	70	73	77	82	79	71	73	77	80	81	81	76	69	75	71	73	69	67	64	72	78	86	74	83	78	80	73	84	85	75	81	82	86	86	81	84	57	55	59	63	48												
3	71	73	76	80	76	78	75	71	66	71	78	81	74	75	74	74	78	75	74	68	71	77	81	80	71	72	75	80	81	82	75	69	73	71	73	67	65	63	71	76	85	73	82	79	81	73	84	83	75	81	81	86	85	81	84	56	53	60	60	48												
4	69	71	75	80	74	77	75	71	64	70	78	81	73	75	72	73	77	74	72	68	68	76	79	80	72	71	73	80	81	83	75	69	71	71	73	67	63	62	70	77	84	73	81	79	81	74	84	76	75	80	83	85	84	82	84	55	52	62	59	49												
5	67	69	74	79	74	76	74	70	63	69	77	81	76	72	72	72	77	72	70	65	68	74	78	81	70	70	72	79	81	83	74	68	70	74	74	67	62	61	70	77	84	72	80	79	80	75	84	77	75	80	82	84	84	81	73	56	51	63	58	50												
6	66	67	72	78	73	76	74	69	64	69	77	82	75	70	72	71	77	71	68	65	68	73	77	81	71	69	70	77	81	84	73	69	68	74	75	68	60	61	69	77	82	72	78	79	79	74	83	77	75	81	81	82	84	81	71	57	50	63	56	49												
7	69	71	74	80	75	78	76	69	66	71	78	82	75	71	72	73	77	71	68	69	72	75	78	80	71	70	70	77	80	86	72	70	69	73	76	69	59	61	69	77	78	73	78	80	78	75	83	77	74	84	81	82	84	80	70	56	50	63	58	48												
8	73	75	79	84	80	81	78	72	71	77	82	80	77	74	74	78	81	76	74	75	76	80	83	82	73	74	74	79	83	89	72	72	73	73	76	72	62	67	74	81	76	77	81	85	79	78	84	79	74	88	85	86	86	83	70	60	54	65	59	52												
9	77	79	83	87	84	84	78	74	73	83	86	83	80	77	78	84	83	79	78	80	82	85	87	82	74	80	79	82	87	87	70	73	78	74	76	75	66	72	79	83	75	83	85	80	78	82	86	79	74	91	89	90	88	87	70	65	61	70	60	56												
10	79	82	85	90	86	87	78	76	76	85	88	86	85	80	80	87	86	82	80	83	85	90	90	82	76	83	84	84	90	82	70	76	83	75	76	75	70	77	84	87	74	84	87	77	77	84	90	78	75	94	93	92	91	89	70	67	67	75	59	62												
11	80	84	87	90	88	88	80	78	79	84	89	87	89	83	85	89	86	83	82	84	87	91	89	80	80	85	87	89	91	85	70	79	85	76	75	77	72	80	87	90	74	89	92	79	77	86	91	78	79	96	96	95	93	92	71	70	70	79	59	67												
12	81	84	86	91	89	89	81	80	81	86	89	88	90	84	85	89	89	85	82	84	85	90	92	80	83	85	89	90	91	78	71	82	89	76	74	79	75	82	88	93	74	91	93	81	76	89	93	76	85	98	98	96	94	92	73	70	73	80	59	69												
13	81	85	86	92	89	90	82	82	83	87	90	88	90	86	79	90	87	85	84	84	86	91	89	80	84	85	91	92	92	76	72	84	90	76	73	82	77	82	88	94	74	93	96	83	75	90	94	76	85	99	99	96	96	94	72	71	74	80	59	70												
14	81	85	86	91	90	92	81	82	84	88	89	91	90	88	78	90	89	86	83	85	87	90	87	79	85	86	91	92	92	78	73	85	90	77	74	85	77	83	88	96	74	93	96	91	76	92	95	76	89	99	100	98	96	94	72	73	75	80	59	71												
15	81	84	86	90	90	91	81	82	84	88	89	91	90	88	82	91	90	86	82	85	87	91	87	81	85	86	90	93	91	79	74	86	89	79	76	88	78	85	88	96	80	94	96	91	77	92	94	76	90	93	100	99	97	94	72	73	76	80	59	70												
16	81	85	87	91	91	90	82	83	85	88	88	90	91	87	84	89	89	86	83	85	88	91	87	81	85	86	91	93	91	82	74	87	90	79	76	87	77	86	88	96	82	93	95	86	79	91	92	78	92	85	100	97	96	94	72	72	77	79	59	71												
17	81	84	86	89	90	88	83	83	85	87	89	90	91	86	88	89	88	84	83	84	88	91	84	76	85	85	90	93	90	84	74	87	89	82	78	86	77	85	88	94	84	94	94	86	79	92	89	77	91	82	101	96	96	94	72	73	76	78	58	69												
18	81	85	86	90	90	78	84	83	84	86	88	76	90	84	88	89	87	84	84	84	87	90	84	74	85	85	90	92	89	86	75	86	88	81	79	87	77	85	88	95	85	93	91	86	80	91	91	78	91	79	101	96	94	94	72	73	76	78	58	69												
19	79	84	86	89	90	80	80	81	83	85	87	76	89	82	86	88	86	83	83	82	87	91	84	74	84	84	89	91	89	84	75	84	87	80	79	85	75	84	87	93	84	92	84	85	79	90	90	77	90	80	99	94	93	92	71	69	77	76	58	65												
20	77	80	83	87	87	79	75	79	81	84	85	76	87	80	82	86	83	81	80	80	85	88	83	74	80	81	87	88	87	80	74	81	84	79	76	80	70	79	85	92	81	90	82	84	78	87	89	76	88	80	94	92	90	90	70	64	70	74	57	59												
21	75	79	81	85	85	79	75	77	78	83	85	76	86	79	80	84	82	78	77	77	83	86	81	74	78	80	84	86	86	78	73	79	79	78	74	79	67	78	82	90	79	88	81	83	76	86	89	76	86	80	93	91	88	89	70	62	68	73	57	55												
22	73	77	81	83	85	78	74	74	77	82	84	77	84	78	79	84	81	76	76	77	81	86	81	74	77	79	83	86	84	78	72	78	73	77	74	75	67	75	81	89	78	87	79	83	75	85	88	76	86	80	92	90	87	89	69	61	66	71	56	53												
23	73	75	80	81	84	78	73	73	76	82	86	78	82	78	78	82	81	75	75	75	79	84	80	74	75	79	82	84	82	77	71	77	72	75	73	75	67	74	80	88	78	86	80	80	75	84	86	76	87	80	92	88	85	88	64	59	63	68	52	51												
MEDIA	76	78	81	85	84	82	78	76	76	80	84	83	83	79	79	82	83	80	78	77	80	84	84	78	77	79	82	85	86	82	73	77	80	76	75	76	70	74	80	86	80	84	86	82	78	83	88	78	82	86	91	91	90	88	74	64	65	71	59	58												

Nota. Normal (ITH ≤ 74), alerta (74 < ITH ≤ 79), peligro (79 < ITH ≤ 84) y emergencia (ITH > 84) son las categorías tomadas de Eigenberg et al. (2005).

4.2 CARACTERÍSTICAS DE LA BASE FORRAJERA

Las características de la base forrajera se describen según biomasa disponible pre-pastoreo y remanente expresados en Kg MS/ha, con sus respectivas alturas, la utilización de la pastura y la asignación de forraje efectiva expresadas como porcentaje para el promedio del período experimental (Tabla 8). Para todas estas variables se detectó un efecto semana ($P < 0.001$). En cambio, no se detectaron diferencias significativas para el efecto de los tratamientos, exceptuando la biomasa disponible pre-pastoreo, la cual presentó diferencias significativas ($P < 0,01$). Por otro lado, la interacción tratamiento por semana (T*S) presentó diferencias significativas ($P < 0,001$) para las variables biomasa disponible pre-pastoreo, altura del disponible y altura del remanente, y diferencias significativas ($P < 0,01$) para el porcentaje de utilización de la pastura. No se encontraron diferencias significativas en las variables restantes.

Tabla 8

Características del sorgo forrajero en cuanto a ofrecido, remanente, asignación de forraje y utilización

	Tratamientos				Efecto (P-valor)		
	Testigo	DDGS	DDGS + AE	EE	T	S	T*S
Biomasa disponible pre-pastoreo, kg MS/ha	7773	7827	8740	207,02	**	***	***
Altura disponible, cm	95,16	91,60	98,10	2,14	ns	***	***
Biomasa remanente, kg MS/ha	3686	3363	3548	229,10	ns	***	ns
Altura remanente, cm	52,96	48,00	50,54	2,01	ns	***	***
Utilización, %	47,43	49,90	51,73	3,04	ns	***	**
AF efectiva, %	7,69	7,80	7,65	0,24	ns	***	ns

Nota. Testigo: testigo sin suplementación; DDGS: suplementación con DDGS; DDGS + AE: suplementación con DDGS + AE; T: Efecto del tratamiento; S: Efecto de la semana; TxS: efecto del tratamiento por la semana. Significancia de los efectos: *** $P < 0.001$; ** $P < 0.01$; * $P < 0.05$; ns: $P > 0.05$. AF: Asignación de forraje. EE: error estándar.

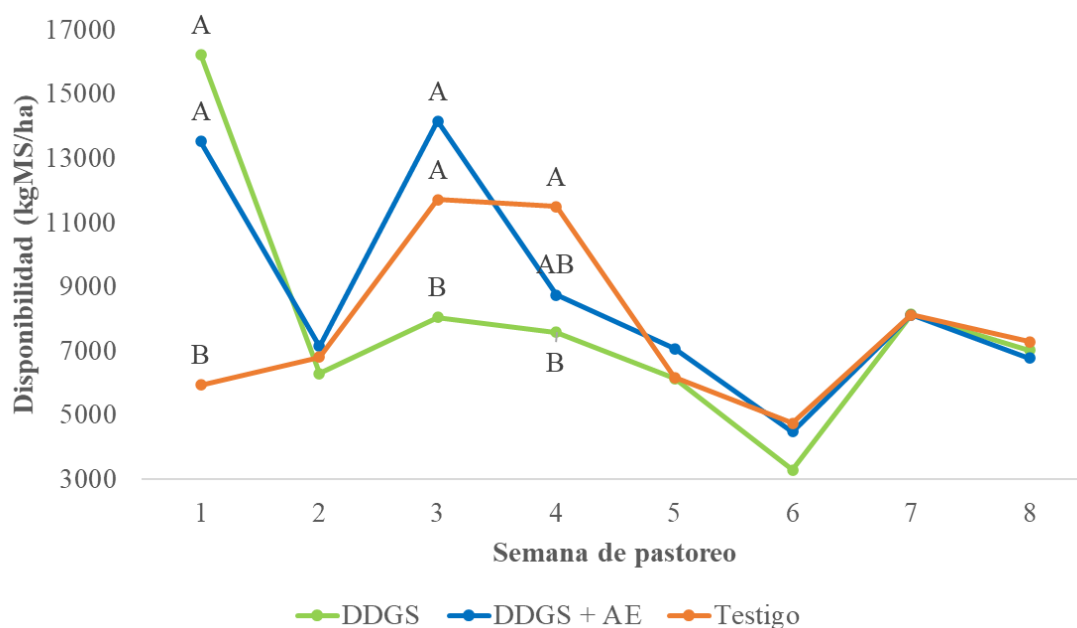
Si bien se encontraron diferencias estadísticas en lo que es la biomasa disponible pre-pastoreo a favor del tratamiento DDGS + AE, esto no se tradujo en una diferencia significativa en cuanto a la utilización de la pastura ni a la asignación de forraje efectiva comparándolo con los demás tratamientos. Esto nos asegura que los tratamientos tuvieron igualdad de condiciones en general, respecto al manejo durante el experimento. Sin embargo, se encontraron diferencias significativas entre semanas en cuanto a la asignación de forraje efectiva, esto debido a la modificación de la cantidad de forraje ofrecido por animal establecido en la metodología, aun así, dichos valores promedios fueron menores a los estipulados para este trabajo, ya que se esperaban valores entre 8 y 10% de AF que fluctuaron con las semanas del experimento.

Las alturas de entrada a las pasturas fueron entre 91,6 y 98,1 cm para los diferentes tratamientos, estas excedieron los recomendados por la bibliografía, dado que según Gallarino (2008), los primeros pastoreos de este tipo de forrajes deberían de realizarse con alturas de 60-70 cm al momento del ingreso a la parcela, lo que puede tener un impacto negativo ya que la pastura acumularía una mayor cantidad de restos secos los cuales disminuyen su valor nutricional; por otro lado, las alturas de los remanentes de los tratamientos oscilaron entre 48,0 y 52,9 cm, también superiores a lo recomendado por el mismo autor (36 cm). Aun así, esta altura de remanente no afectaría a la producción de hojas del nuevo rebote, ya que fue superior a 13 cm de altura, lo mínimo que se recomienda dejar al salir de la parcela. Además, pastoreos menos intensos permiten el rebrote de yemas axilares, favoreciendo mayores tasas de crecimientos y una mayor acumulación de hojas entre pastoreos, generando mayor biomasa disponible para los animales (Gabard Cabrera & Russi Piccardo, 2005).

Profundizando lo anteriormente descrito, la figura No. 3 presenta la evolución semanal del forraje disponible para los tres tratamientos, durante el periodo experimental.

Figura 3

Evolución semanal de la disponibilidad de forraje pre-pastoreo de los diferentes tratamientos del experimento



Nota. Letras diferentes muestran diferencias significativas entre tratamientos dentro de la misma semana; semanas sin letras no tienen diferencias estadísticas entre tratamientos en cuanto a la variable.

En promedio para este experimento la biomasa de forraje ofrecida fue de 7814 kg MS/ha, dicho valor es similar a las producciones reportadas en la bibliografía (Acosta et al., 2022; Carámbula, 2007; Casanova, 2020; García Borges et al., 2024; Kuchman et al., 2022). Para esta variable se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, entre semanas y en la interacción tratamiento por semana, presentando diferencias significativas en las semanas 1, 3 y 4.

En cuanto a la diferencia entre tratamientos, se ubicaron principalmente en las primeras 4 semanas del experimento (con excepción de la 2), las cuales probablemente se atribuyen a la heterogeneidad natural de la pastura, las que también coinciden con el primer pastoreo de la misma, dado que, a partir de la quinta semana tales diferencias estadísticas desaparecen, producto que a partir de ese momento ocurre el segundo pastoreo del sorgo, lo cual pudo haber eliminado toda posible diferencia natural del crecimiento del forraje.

A su vez, es de destacar las diferencias encontradas para la variable en cuanto al valor de producción inicial respecto a los demás valores, así como las diferencias entre

tratamientos en la misma semana. Esto puede ser atribuible a errores al momento de la estimación de disponibilidad, ya que el método de medición y la oferta de forraje se fue ajustando cada vez más con el avance del período experimental. La variación de disponibilidad de forraje en conjunto con la variación de la asignación de forraje de cada semana repercute en la performance animal, afectando principalmente su nivel de restricción o no alimentaria.

Por su parte, en lo que respecta a la composición química del sorgo forrajero ofrecido en el transcurso del experimento presentó en promedio 8,4% de PC, 13,7% de cenizas, 59,5% de FND y 29,3% de FDA, valores similares a los reportados en la literatura (Tabla 1 y 2). Sin embargo, la composición química del forraje ofrecido fue variando a lo largo del periodo experimental (Tabla No. 9), a medida que avanzaron las semanas del experimento todas las variables medidas aumentaron contenido, expresado como porcentaje. Sin embargo, esto contribuyó a que la digestibilidad de la dieta aumentara en promedio 4.9%.

Tabla 9

Composición química del forraje ofrecido, de muestras compuestas de inicio, mitad y fin del experimento

	Periodo 1 (Sem. 1 y 2)	Periodo 2 (Sem. 3, 4 y 5)	Periodo 3 (Sem. 6, 7 y 8)
PC (%)	5,18	6,96	11,13
C (%)	10,70	13,07	15,77
FND (%)	56,65	60,37	62,00
FDA (%)	27,62	29,24	32,50

Nota. Las diferentes muestras muestran diferencias significativas para la variable entre periodo.

PC: proteína cruda; C: cenizas; FND: fibra detergente neutra con amilasa corregida por cenizas; FDA: fibra detergente ácida corregida por cenizas; Sem: semana.

La evolución hacia un mayor contenido de PC de la pastura a lo largo del periodo experimental probablemente se deba a mejoras de las condiciones hídricas, ya que, si bien las precipitaciones acumuladas mensuales estuvieron dentro de valores típicos, las mismas fueron el 33% del promedio para el inicio del experimento. Con los meses siguientes del experimento el déficit hídrico del cultivo forrajero se fue atenuando, pero la diferencia en contenido de proteína con respecto al último periodo se debió al avanzado

estado fenológico que presentaba el forraje, lo cual sigue la misma tendencia que los resultados encontrados por Carámbula (2002).

En la tabla No. 10 se observa la digestibilidad de la materia seca en porcentaje para cada tratamiento. Se encuentra diferencia significativa ($P < 0.01$) sólo por semana de digestibilidad (semana 3 y 7, Tabla 11), no así para tratamiento y tratamiento por semana ($P > 0.05$).

Tabla 10

Digestibilidad de la materia seca promedio por tratamiento

	Tratamientos				Efecto (P valor)		
	Testigo	DDGS	DDGS + AE	EE	T	S	TxS
Dig MS (%)	60,33	61,17	61,50	0,0337	ns	**	ns

Nota. Testigo: testigo sin suplementación; DDGS: suplementación con DDGS; DDGS + AE: suplementación con DDGS + AE; T: Efecto del tratamiento; S: Efecto de la semana; TxS: efecto del tratamiento por la semana. Significancia de los efectos: *** $P < 0.001$; ** $P < 0.01$; * $P < 0.05$; ns: $P > 0.05$. Dig MS (%): Digestibilidad de la materia seca. EE: Error estándar.

Tabla 11

Digestibilidad de la materia seca promedio por tratamiento de cada semana

	Tratamientos			EE	Efecto (P valor)
	Testigo	DDGS	DDGS + AE		
Semana 3					
Dig MS (%)	60,67	57,67	57,33	0,0356	ns
Semana 7					
Dig MS (%)	60,00	64,67	65,67	0,0356	ns

Nota. Testigo: testigo sin suplementación; DDGS: suplementación con DDGS; DDGS + AE: suplementación con DDGS + AE; T: Efecto del tratamiento. Significancia de los efectos: *** $P < 0.001$; ** $P < 0.01$; * $P < 0.05$; ns: $P > 0.05$. Dig MS (%): Digestibilidad de la materia seca. EE: Error estándar.

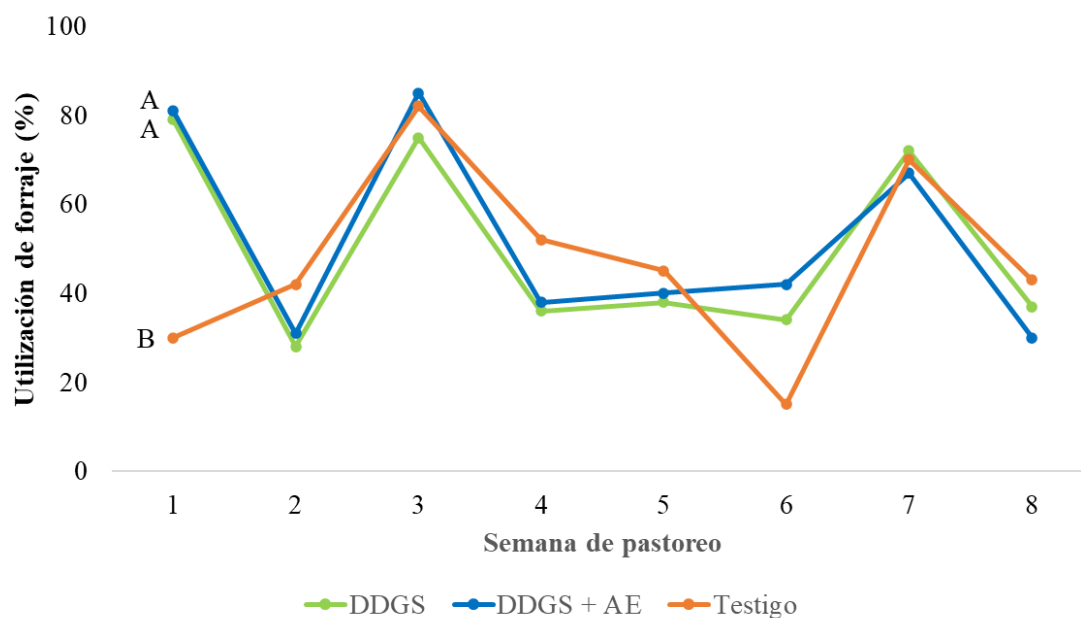
La digestibilidad aparente de la MS fue mayor para la semana 7 vs la semana 3 en los tratamientos que recibieron suplementación, ya sea con el agregado o no de los aceites esenciales, el aumento de la digestibilidad está principalmente asociado a un efecto de sinergia entre la pastura y el suplemento, ya que para el tratamiento testigo no hubo una respuesta marcada en el cambio de digestibilidad entre las semanas, ya que este contaba

con una dieta netamente pastoril, por lo tanto no se le podría adjudicar el aumento de la digestibilidad solamente a la pastura.

A continuación, se presenta la figura No. 4, la cual presenta para cada tratamiento la evolución del porcentaje de utilización de la pastura correspondiente a cada momento del periodo experimental.

Figura 4

Evolución semanal de la utilización del forraje



Nota. Letras diferentes muestran diferencias significativas entre tratamientos dentro de la misma semana; semanas sin letras no tienen diferencias estadísticas entre tratamientos en cuanto a la variable.

En la variable anteriormente presentada, solo se encuentran diferencias significativas entre tratamientos para la primera semana del experimento, debido al desajuste en el método de medición de disponibilidad, y por consiguiente un desajuste en la oferta forrajera hacia los animales.

Como se puede observar en la figura, no hay una tendencia clara de evolución de la utilización del forraje a lo largo del experimento. Lo que sí es importante destacar son los altibajos de la variable; cuando estos se hacen mayores (más frecuentemente al inicio del experimento), esto está asociado a la menor calidad del forraje ofrecido (presentado como digestibilidad y contenido de proteína cruda), producto del avanzado estado fenológico que presenta y que provoca que la calidad del mismo decaiga tal como los

expresa Carámbula (2002), lo cual provoca que, para que los animales puedan cubrir sus requerimientos nutricionales deban de maximizar la utilización de la pastura. En cambio, cuando la calidad de la pastura aumenta hacia el final del experimento (periodo 3), asociado al rebrote de la pastura luego del primer pastoreo, los animales pueden saciar sus requerimientos con un menor volumen de forraje, lo que genera una menor utilización.

4.3 COMPORTAMIENTO ANIMAL

4.3.1 Comportamiento ingestivo

El comportamiento animal (tabla No. 12), muestra la probabilidad de encontrar un animal realizando una determinada actividad, la cual no mostro diferencias significativa entre tratamiento para las variables pastoreo, rumia y descanso, pero si para consumo de agua ($P < 0,05$) y consumo de suplemento ($P < 0,01$),.

El efecto semana se encontró para las variables pastoreo, rumia, y descanso ($P < 0,001$), y para consumo de suplemento ($P < 0,05$). No se encontró interacción tratamiento por semana para ninguna de las variables.

Tabla 12

Probabilidad de tiempo promedio dedicado a cada actividad de comportamiento por tratamiento

	Tratamientos				Efecto (P-valor)		
	Testigo	DDGS	DDGS + AE	EE	T	S	T*S
Pastoreo	0,32	0,32	0,30	0,0154	ns	***	ns
Rumia	0,25	0,23	0,21	0,0139	ns	***	ns
Descanso total	0,39	0,40	0,42	0,0117	ns	***	ns
Consumo agua	0,03	0,02	0,02	0,0022	*	ns	ns
Consumo suplemento	-	0,03	0,04	0,0021	**	*	ns

Nota. Testigo: testigo sin suplementación; DDGS: suplementación con DDGS; DDGS + AE: suplementación con suplementación con DDGS + AE, T: Efecto del tratamiento. S: Efecto de la semana. TxS: efecto del tratamiento por la semana. Significancia de los efectos: *** $P < 0.001$; ** $P < 0.01$; * $P < 0.05$; ns: $P > 0.05$.

El mayor valor de probabilidad de encontrar un animal bebiendo agua en el tratamiento testigo podría deberse a una conducta propia del animal, dado que estos recibieron una alimentación exclusivamente a base de forraje con alto contenido de FDN (59.5%) y sin suplementación. Al tratarse de una dieta totalmente pastoril, se produce una mayor generación de calor como consecuencia de una mayor fermentación ruminal del alimento (Baumgard et al., 2014). Por lo tanto, los animales requieren un mayor consumo de agua para regular su temperatura corporal, lo que conlleva a disminuir la temperatura del retículo-rumen. Además, gran parte del agua ingerida se elimina a través del jadeo (Giraudó, 2003).

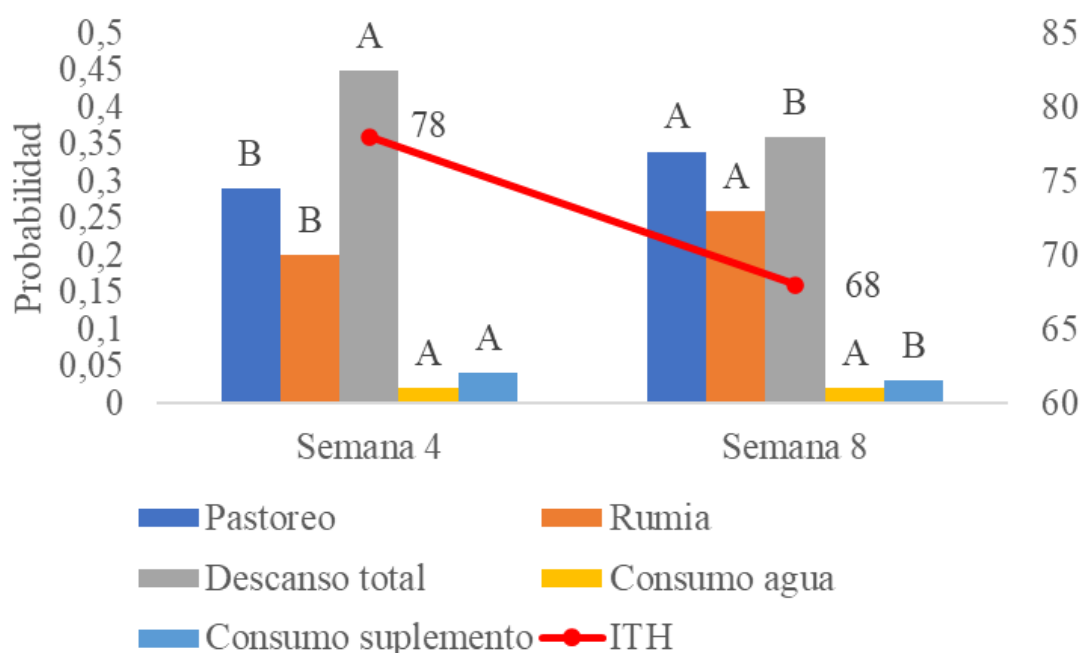
Aun así, los resultados de probabilidad de encontrar un animal bebiendo agua de todos los tratamientos son similares a los obtenidos por Kuchman et al. (2022) para situaciones sin acceso a sombra, sin embargo, era de esperarse que fueran parecidos a tratamientos que contaron con acceso a sombra, esto puede reflejar un mayor nivel de estrés térmico presentado por los animales de este experimento, y con ello una mayor necesidad de visitar el bebedero.

Para el caso del consumo de suplemento, vemos como existen diferencias significativas en cuanto al tiempo dedicado al mismo, a favor del tratamiento suplementado con DDGS + AE, lo cual probablemente sea producto de diferencias en cuanto al comportamiento natural del animal, dado que no se encontraron diferencias estadísticas en cuanto a consumo total de suplemento entre tratamientos, ni tampoco los animales de ese tratamiento dejaron rechazo de alimento en el comedero a lo largo del experimento, que puedan reflejar diferencias en cuanto a palatabilidad del conjunto DDGS + AE. A su vez, no se puede decir que esos animales hayan llegado al momento del encierre con un mayor apetito, dado que como se aclara anteriormente, no se encontraron diferencias en cuanto a consumo de forraje ni suplemento.

En la figura No. 5 se presenta la proporción de tiempo dedicado a cada actividad por semana de evaluación de comportamiento y los respectivos ITH promedio de la semana.

Figura 5

Proporción del tiempo dedicado a cada actividad e ITH promedios para las semanas de medición



Nota. Letras diferentes muestran diferencias estadísticas para la variable proporción del tiempo dedicado a cada actividad entre semanas. ITH (Índice de temperatura y humedad) = $(1.8 \times T + 32) - (0.55 - 0.55 \times HR / 100) \times (1.8 \times T - 26)$; siendo T = temperatura media (°C) y HR = humedad relativa (%) tomado de Valtorta y Gallardo (1996).

Es importante destacar que existió una variación de 10 puntos en el ITH entre la semana 4 y la semana 8 de medición del comportamiento, en donde en la primera de las dos semanas los animales se encontraron dentro del rango de alerta y en la semana posterior, los mismos se encontraron en un rango de valores considerados normal según Eigenberg et al. (2005).

El estado de alerta de la semana 4 se puede traducir en una respuesta que provoque un cambio en el comportamiento del animal en donde al salir de la homeostasis y de una zona termoneutral, estos reducen el tiempo dedicado al pastoreo y la rumia, por ende, los animales se enfocan en dedicar más tiempo al descanso (Ratnakaran et al., 2017); las diferencias significativas encontradas entre semanas acompañan los resultados obtenidos por Kuchman et al. (2022).

En la tabla No. 13 se evalúa la tasa de bocado de la mañana y de la tarde de las semanas de comportamiento 4 y 8, en donde se observan diferencias significativas entre las semanas (tabla No. 14), no así para los tratamientos, ni la interacción tratamiento por semana.

Tabla 13

Tasa de bocado de la mañana y de la tarde promedio de cada tratamiento

	Tratamientos				Efecto (P-valor)		
	Testigo	DDGS	DDGS +AE	EE	T	S	T*S
TB mañana (promedio 4 y 8)	17a	15a	16a	0,9153	ns	***	ns
TB tarde (promedio 4 y 8)	19a	20a	20a	2,0414	ns	***	ns

Nota. Testigo: testigo sin suplementación; DDGS: suplementación con DDGS; DDGS +AE: suplementación con DDGS + AE. Significancia de los efectos: *** P<0.001; ** P<0.01; * P<0.05; ns: P>0.05. TB: Tasa de bocado. EE: Error estándar. Letras distintas muestran diferencias significativas entre tratamientos dentro de una misma medición (fila).

Los resultados de tasa de bocado presentados por Casanova (2020), coinciden con los obtenidos para este trabajo en la semana 8 de medición (Tabla No. 14), siendo los de la semana 4 ampliamente mayores a los presentados por dicho autor. La diferencia de tasas de bocado entre las semanas puede estar influenciada por el ITH alto de la semana 4. Un mayor ITH se asocia con un cambio en el comportamiento del animal, presentando una reducción del tiempo de pastoreo por lo que los animales tienen que aumentar la tasa de bocado para aumentar el consumo de la materia seca (Ratnakaran et al., 2017). A su vez, los menores valores obtenidos de tasa de bocado para la octava semana probablemente estén asociados al incremento de la calidad del forraje ofrecido a los animales y un mayor tiempo dedicado al pastoreo (tablas No. 9 y 11).

Tabla 14

Tasa de bocado promedio de la mañana y tarde por tratamiento y semana de evaluación

	Tratamientos			Efecto (P-valor)	
	Testigo	DDGS	DDGS + AE	EE	T
<i>Semana 4</i>					
TB					
mañana	23a	19a	22a	0.9223	ns
TB tarde	25a	27a	26a	16.584	ns
<i>Semana 8</i>					
TB					
mañana	12a	12a	10a	0.9223	ns
TB tarde	12a	12a	15a	16.584	ns

Nota. Testigo: testigo sin suplementación; DDGS: suplementación con DDGS; DDGS + AE: suplementación con DDGS + AE. TB: Tasa de bocado. T: Efecto del tratamiento. Significancia de los efectos: *** $P < 0.001$; ** $P < 0.01$; * $P < 0.05$; ns: $P > 0.05$. Letras diferentes muestran diferencias significativas entre tratamientos dentro de un mismo horario y de una misma semana.

4.3.2 Indicadores de estrés térmico en el animal

La frecuencia respiratoria (tabla No. 15) fue afectada significativamente por el tratamiento, no así entre semanas, vemos a su vez, como el resultado de la variable aumenta con el correr de las horas de medición, hacia horas con mayor riesgo de ITH.

Tabla 15

Efecto tratamiento en la frecuencia respiratoria promedio en los diferentes horarios de medición

	Tratamientos			Efecto (P-valor)			
	Testigo	DDGS	DDGS + AE	EE	T	S	T*S
FR 10 hs	66b	82a	70b	2.4357	*	ns	ns
FR 14 hs	63b	78a	74a	2.4448	**	ns	ns
FR 17 hs	63b	81a	75a	1.6166	***	ns	ns

Nota. Testigo: testigo sin suplementación; DDGS: suplementación con DDGS; DDGS + AE: suplementación con DDGS + AE. T: Efecto del tratamiento. S: Efecto de la semana. TxS: efecto del tratamiento por la semana. Significancia de los efectos: *** $P < 0.001$; ** $P < 0.01$; * $P < 0.05$; ns: $P > 0.05$. FR: frecuencia respiratoria.

Era de esperarse que la FR aumente en los tratamientos suplementados, al presentar una dieta con una mayor cantidad de extracto etéreo (grasas) y proteínas, que al fermentarse en el rumen generan mayor producción de calor; a su vez, también era probable que hacia las 14 y 17 horas aumentara dicha variable, ya que son el horario que tiende a presentar mayores valores de ITH en los días de verano, como se puede observar en la figura No. 2. Lo mismo observaron en sus trabajos Casanova (2020) y Kuchman et al. (2022). A su vez Casanova (2020), encontró valores menores a los de este trabajo en situaciones con acceso a sombra (53.46 respiraciones por minuto), mientras que los valores de este experimento se asemejan más a los valores de libre pastoreo (66.20 respiraciones por minuto para animales sin acceso a sombra).

Comparando con los datos de Hafez y Dyer (1972), todos los tratamientos superaron el rango normal de ciclos de respiraciones por minutos, el cual era de entre 10 a 30 ciclos de respiraciones por minuto, lo que era de esperar, ya que cuando aumenta el ITH, aumenta la frecuencia respiratoria del animal.

Por su parte Indu y Pareek (2015), aclaran que, cuando los animales superan las 80 respiraciones por minuto, estaría indicando que los mismos se encuentran bajo un alto nivel de estrés calórico. Para este experimento vemos que los animales suplementados solo con DDGS superan dicho valor, esto ocurrió en las mediciones de las 10 y 17 hs.

Para la siguiente tabla (tabla No. 16) se ve un desglose de las frecuencias respiratorias (FR) para cada tratamiento por semana de evaluación en los diferentes horarios.

Tabla 16

Frecuencia respiratoria por tratamiento, para cada horario y semana de medición

	Tratamientos			Efecto (P-valor)	
	Testigo	DDGS	DDGS + AE	EE	T
<i>Semana 4</i>					
FR 10	62b	88a	69b	2,3732	**
FR 14	60b	78a	78a	2,4231	*
FR 17	61b	87a	82a	2,1286	***
<i>Semana 8</i>					
FR 10	70a	75a	72a	2,3732	ns
FR 14	67a	79a	71a	2,4231	ns
FR 17	66a	74a	79a	21286	ns

Nota. Testigo: testigo sin suplementación; DDGS: suplementación con DDGS; DDGS + AE: suplementación con DDGS + AE. T: Efecto del tratamiento. Significancia de los efectos: *** $P < 0.001$; ** $P < 0.01$; * $P < 0.05$; ns: $P > 0.05$. FR: frecuencia respiratoria (respiraciones/minuto). Letras diferentes muestran diferencias estadísticas para la variable dentro de un mismo horario y semana de medición.

Los animales suplementados con DDGS en la semana 4 superaron el valor de 80 respiraciones por minuto indicado por Indu y Pareek (2015), lo que se puede traducir en que, si bien no hubo diferencia significativa entre semana para la FR, en la semana de mayor ITH la variable superó el valor mencionado por los autores. En el experimento de Casanova (2020), la frecuencia respiratoria fue mayor en los días con mayores temperaturas (asociado a mayores valores de ITH), tal como ocurrió en la semana 4 del presente trabajo, lo que coincide con los datos presentados. En este desglose de la información también se puede apreciar que los animales que fueron suplementados con DDGS + AE también superaron el umbral de 80 respiraciones por minuto en el último horario de medición de la primera semana, lo que denota un alto nivel de estrés por calor para esos animales.

Otro indicador de estrés fue la temperatura rectal (tabla No. 17) donde se observa un efecto significativo del tratamiento y la semana de medición sin interacción entre ambos.

Tabla 17*Efecto tratamiento en la temperatura rectal promedio*

	Tratamientos			Efecto (P-valor)		
	Testigo	DDGS	DDGS + AE	T	S	T*S
TR	38,7 b	39,0 a	39,0 a	*	***	ns

Nota. Testigo: testigo sin suplementación; DDGS: suplementación con DDGS; DDGS + AE: suplementación con DDGS + AE; T: Efecto del tratamiento; S: Efecto de la semana; TxS: efecto del tratamiento por la semana. Significancia de los efectos: *** $P < 0.001$; ** $P < 0.01$; * $P < 0.05$; ns: $P > 0.05$. TR: temperatura rectal ($^{\circ}\text{C}$). Letras diferentes muestran diferencias significativas entre tratamientos.

En primer lugar, se puede apreciar como los resultados promedios de temperatura rectal fueron similares a los obtenidos por Kuchman et al. (2022) (38.03°C), para situaciones de novillos pastoreando sorgo en verano con acceso a sombra. A su vez, estos valores se encuentran dentro del rango de temperaturas normales para esta especie, tal como lo mencionan Hafez y Dyer (1972).

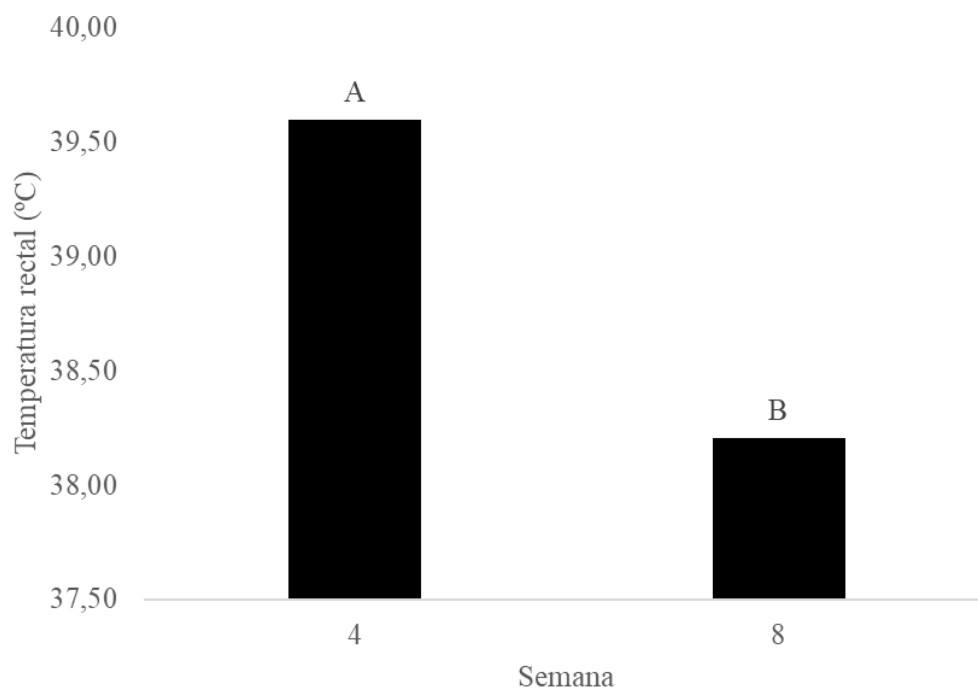
A su vez, destacamos que los resultados presentados anteriormente no concuerdan con lo propuesto por McCarty et al. (2015), dado que los mismos expresan que compuestos provenientes de ciertos AE pueden producir la vasodilatación en el animal y actuar como termorregulador permitiendo la disipación del calor y dando como resultado una menor temperatura rectal. Es por esto, que se esperaba que la significancia entre los tratamientos resultara de una menor temperatura rectal en el tratamiento con adición de AE con respecto a los tratamientos DDGS y Testigo, dado que en base a lo que presentan Blanch et al. (2016), era posible esperar que este producto mejorará la fermentación ruminal de los animales y con ello una menor producción de calor en el proceso, los mismo también expresan Evans y Martin (2000), acerca de una mejora en la fermentación ruminal por la inclusión de AE de similares características en la dieta. La no concordancia de nuestros resultados con lo mencionado anteriormente se puede deber al efecto que genera el uso de este suplemento, el cual por su composición con predominancia de grasas y proteína, genera una mayor producción de calor a nivel ruminal, y por consiguiente se vea reflejado en una mayor TR en los tratamientos suplementados, aunque aun así, el uso de los AE no pudo mitigar el incremento calórico producido en los animales suplementados ya que no existió una diferencia estadística entre estos.

Aun así, estos resultados son válidos dado que no se comparan los mismos AE, ya que en este experimento los compuestos principales son cinamaldehído, ácido silícico, mono y diglicéridos de ácidos grasos y alicina, mientras que el compuesto con acción vasodilatadora que describe McCarty et al. (2015), son principalmente los que provienen de la capsaicina; pero si son los mismo que describen en los artículos de Blanch et al. (2016), y de Daning et al. (2020); por lo que era de esperarse similitud en cuanto a los resultados.

En la siguiente figura se muestra la diferencia de temperatura rectal entre semanas, siendo 1,4°C mayor en la semana 4 respecto a la 8. Esto se puede corresponder a que el animal tenga esta respuesta fisiológica debido a incrementos en temperatura y/o humedad relativa (Rashamol et al., 2018), dichos cambios en la variables climáticas se vean reflejados en mayores ITH promedio en esta semana como se muestra en la figura No. 5; además este aumento de temperatura puede llevar a un desequilibrio térmico del animal, ya que supera los umbrales de temperatura rectal indicados para *Bos taurus*, que van entre 38 a 39 °C (Hafez & Dyer, 1972).

Figura 6

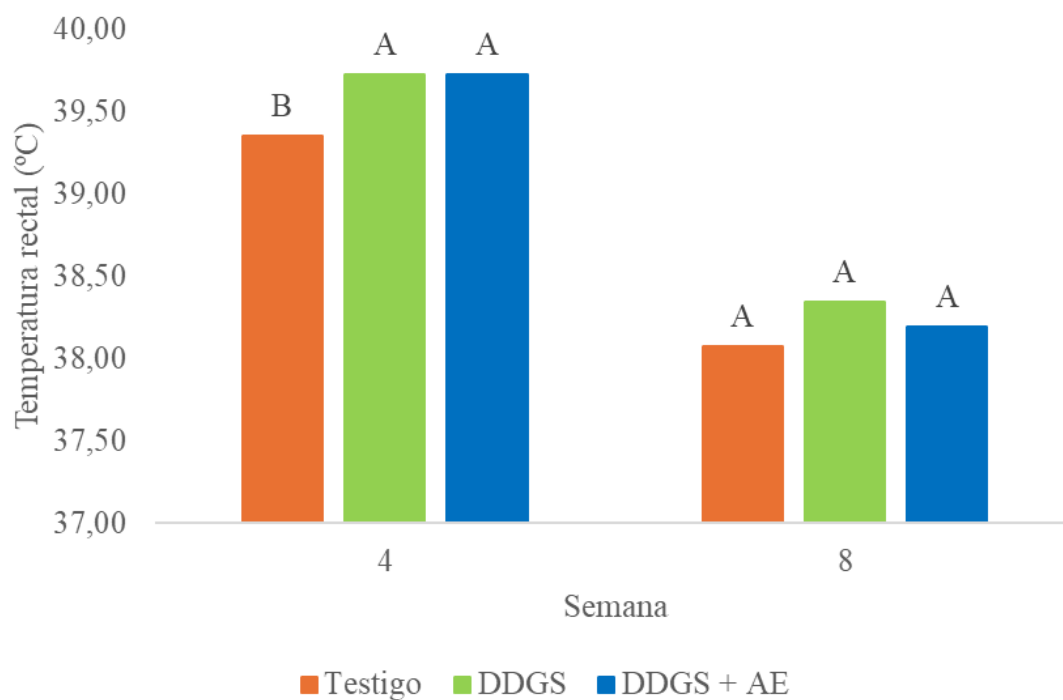
Temperatura rectal promedio para ambas semanas de medición



Nota. Diferentes letras representan diferencias estadísticas para la variable entre semanas.

Figura 7

Temperatura rectal promedio por tratamiento según semana de medición



Nota. Letras diferentes muestran diferencias significativas entre tratamientos dentro de la misma semana.

En la figura anterior, vemos un desglose por tratamiento de los resultados de temperatura rectal para cada semana. En la misma podemos ver como solo hay diferencias estadísticas a favor del tratamiento testigo en la cuarta semana; y no encontrándose diferencias en los demás tratamientos para cada semana.

Estos resultados no concuerdan con lo esperado, dado que como se ha mencionado anteriormente en este trabajo, la dieta de estos animales era netamente a base de forraje con alto contenido de fibra, el cual al presentar una fermentación ruminal en la que la producción de calor es mayor, se debería de observar una mayor temperatura rectal en los animales que presentan dicha dieta, tal como se desprende del trabajo realizado por Baumgard et al. (2014).

Por último, se ha medido el score de jadeo de cada tratamiento por semana de evaluación (semana 4 y 8), como otro indicador de estrés por calor.

Tabla 18

Porcentaje de animales por tratamiento con diferente score de jadeo según semana de medición

Score de jadeo	Semana 4			Semana 8		
	Testigo	DDGS	DDGS + AE	Testigo	DDGS	DDGS + AE
0	72	38	47	100	100	97
1 - 2	28	62	53	0	0	3
3 - 4	0	0	0	0	0	0

Entre semana se observó claramente una diferencia en la proporción de animales con score de jadeo más elevado, aunque no se llegó a extremos de 3 y 4 que son casos graves, marcando la semana 4 como la que presenta condiciones más estresantes para los animales debido al alto ITH; similares observaciones respecto a la proporción de animales en cada categoría de score de jadeo se encontraron en los trabajos de Casanova (2020) y Kuchman et al. (2022), los cuales muestran tendencias a que en semanas con predisposición a presentar situaciones de mayor estrés calórico, los animales presenten condiciones parecidas a las de categorías más altas de las escala de jadeo. Esto se relaciona con una respuesta del animal frente al estrés calórico (Idris et al., 2021), coincidiendo con mayores ITH para esta semana como se observa en la figura No. 5; lo cual coincide con lo que expresan Sejian et al. (2018), que frente a aumentos de temperatura ambiente que superen el límite superior de temperatura corporal animal, los mismos activan mecanismos de termólisis como el jadeo.

4.4 CONSUMO Y PERFORMANCE ANIMAL

Los consumos promedio de forraje, suplemento y total del alimento para cada tratamiento del experimento. Se observa que en los resultados de los contrastes entre Testigo vs Suplemento solo fue significativo ($P < 0.01$) para consumo total, expresado en kg MS en relación PV, esta diferencia se debe a la ausencia de consumo de suplemento; mientras que para los contrastes de DDGS vs DDGS + AE no hubo diferencias significativas ($P > 0,05$). (Tabla 21)

Tabla 19*Consumo promedio de forraje, suplemento y total del alimento para cada tratamiento*

	Tratamientos				Significancia de los contrastes ¹	
	Testigo	DDGS	DDGS + AE	EE	T vs SUPL	DDGS vs DDGS + AE
Consumo forraje, kg MS/100 kg peso vivo	1,28	1,43	1,49	0,0014	ns	ns
Consumo suplemento, kg MS/100 kg peso vivo	-	0,50	0,50	9,00E-06	-	ns
Consumo total, kg MS/100 kg peso vivo	1,28	1,93	1,99	0,0014	**	ns
Consumo total, kg MS	3,51	5,73	5,75	0,2200	***	ns

Nota. Testigo: testigo sin suplementación; DDGS: suplementación con DDGS; DDGS + AE: suplementación con DDGS + AE. ¹: significancia de los efectos: *** P<0.001; ** P<0.01; * P<0.05; ns: P>0.05. EE: error estándar.

La diferencia detectada en el consumo total de alimento se debe a la presencia o no de suplementación. En el grupo testigo, la ausencia de la suplementación, y un menor consumo de forraje, genera un menor consumo total (expresado como kg MS/100 kg de peso vivo y como kg MS total) que explica la menor ganancia media diaria y que este sea el tratamiento que tuvo la menor evolución el peso vivo a lo largo del experimento. Al asociar el valor del consumo de materia seca del tratamiento testigo con el resultado de la GMD del mismo, vemos como este estaría cerca de los valores de consumo que cubrirán los requerimientos para mantenimiento, cercanos al 2% que menciona la bibliografía (Karish & Parish, 2023). Aun así, dicho valor es menor, y esto se asocia con el tamaño del animal, particularmente con el tamaño metabólico del mismo, y con la

calidad del alimento, los cuales hacen variar con el consumo esperado para cubrir la demanda necesaria de nutrientes.

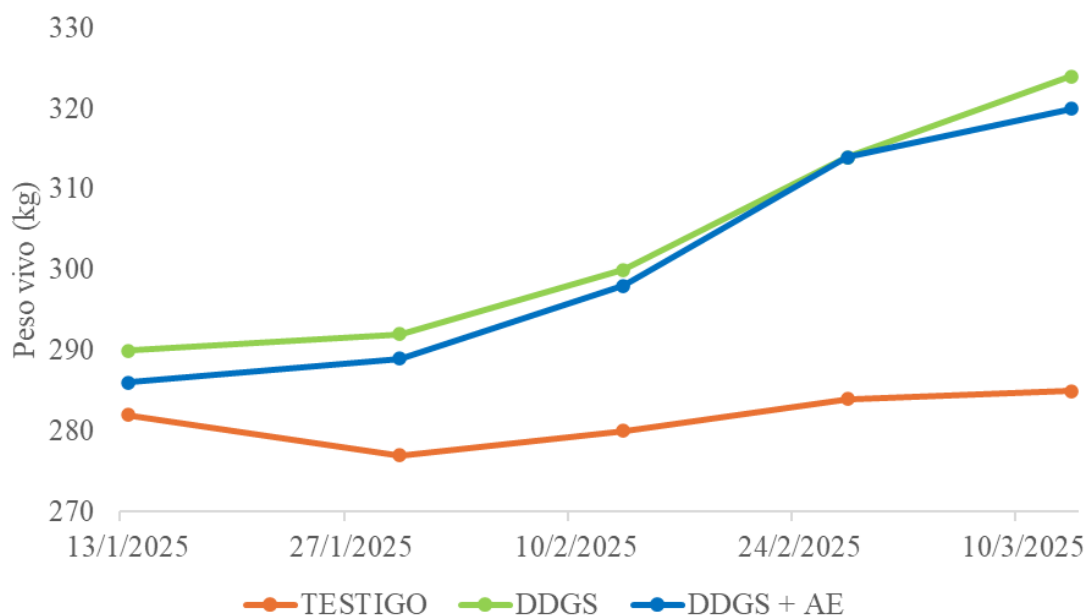
A su vez, podemos observar cómo no existió diferencias estadísticas en la variable consumo de forraje entre tratamientos, lo que explica que para los tratamientos en los cuales se suplemento con DDGS hubo un efecto claro de adición como lo menciona Beretta et al. (2019), y no existió efecto de sustitución del alimento, ya que en base al cuadro anterior se puede inferir que existió una limitante desde el punto de vista de la oferta de forraje que condicionó el consumo voluntario de los animales, ya que cuando se observa el consumo total de alimento de los suplementados este es mayor en relación a los no suplementados, y que estos últimos tuvieron un consumo que solo les permitió expresar una performance de mantenimiento.

Como no existieron diferencias estadísticamente significativas en el consumo de forraje, aun así, con la inclusión de la suplementación, y asociado a la performance de los diferentes tratamientos (tabla No. 16) vemos como se refleja la baja calidad promedio de este tipo de pasturas tal como lo menciona Carámbula (2007), y se destaca la necesidad de suplementar los animales cuando se pastorean este tipo de forrajes con altas dotaciones como fue el caso de este trabajo, ya que las exigencias para sostener este tipo de producciones no llega a ser cubierta únicamente por este tipo de verdes, dado su desbalance nutricional y de la mano de sus valores de digestibilidad, que generan que el consumo pueda verse limitado, existe la necesidad de aportar esos nutrientes faltantes y promover un mayor consumo de alimento en este tipo de categorías, con el fin de que se vea una respuesta en la ganancia de peso vivo y con ello una mayor productividad del sistema.

En la evolución de peso de los tratamientos en el periodo de evaluación, se puede observar como el tratamiento DDGS tuvo los mayores valores de pesos a lo largo del experimento, seguidos por el tratamiento DDGS + AE, y por último el tratamiento testigo (Figura No. 8). Para el caso de los tratamientos suplementados se ve un aumento de peso sostenido, en cambio para el testigo se ve una pérdida de peso en los primeros 15 días del periodo de evaluación seguido por un aumento de peso de menor magnitud que los tratamientos suplementados en las demás semanas del experimento.

Figura 8

Evolución del peso vivo de novillos de los diferentes tratamientos del experimento



La pérdida de peso en los primeros 15 días del tratamiento testigo se puede deber a un error experimental, debido a un probable mal ajuste de la oferta de forraje. Luego de esto, se corrigió la escala y el método de medición, lo que se vio reflejado en una respuesta por parte de los animales en un aumento de pesos sostenido en el tiempo. Por otro lado, la variación en la calidad de la pastura fue un motivo por el cual los animales cambiaron la tendencia en la evolución del peso vivo, dado que el forraje ofrecido mejoró su calidad, por lo tanto, cuando se les suministra más y/o de mejor calidad, los animales tienden a potenciar la respuesta productiva, y esto se ve mejor reflejado en ambientes con temperaturas elevadas (Chen et al., 1993).

En cuanto a los tratamientos DDGS y DDGS + AE también sucedió lo mismo respecto a la estimación del forraje, condicionando así la oferta de forraje efectiva en los primeros 15 días, aunque en estos casos no se vio una pérdida de peso sino una ganancia a menor tasa, y esto probablemente se pueda justificar por el hecho de que tales tratamientos eran suplementados (Tabla No. 20), y esta práctica puede haber generado un efecto de adición (Beretta et al., 2019).

Respecto al efecto del AE vs. el tratamiento recibiendo solo la suplementación con DDGS no fue significativo para ninguna de las variables de desempeño animal (Tabla

20), mientras que el contraste del efecto de suplemento contra los testigos que no fueron suplementados si fue significativo ($P < 0.001$) para las variables peso final y ganancia de peso vivo.

Todos los tratamientos parten de un peso vivo sin diferencias estadísticas ($P > 0.05$), lo cual afirma que el experimento comenzó en igualdad de condiciones respecto a los animales; lo que demuestra que las distintas performances de los diferentes tratamientos no responden a un efecto de las condiciones previas sino a una respuesta a los tratamientos aplicados.

La ganancia de peso vivo tuvo diferencias a favor de los tratamientos suplementados respecto a su contraparte no suplementada (8,86 veces mayor), estos últimos tuvieron una ganancia de mantenimiento (0,070 kg/día) correspondiendo a 0,471 kg/día menor a la ganancia promedio obtenida en antecedentes nacionales en similares condiciones (tabla No. 4); a su vez la ganancia de este tratamiento fue menor que animales que pastorearon sorgo a pleno sol, la cual según la bibliografía fue en promedio de 0,400 kg/día, lo que podría indicar que no existió un efecto de la sombra en atenuar el estrés calórico y mejorar la performance animal, aunque, para corroborarlo debería de haber existido un tratamiento sin acceso a la sombra. A su vez, probablemente esté relacionado también al desajuste de la oferta de forraje, que no se pudo lograr una asignación de forraje promedio igual a la planteada en el trabajo, así como también a que según la tabla 11, la calidad de la dieta medida a través de la digestibilidad para este tratamiento no tuvo una mejora significativa.

Tabla 20

Efecto de los tratamientos sobre las principales variables asociadas a la performance animal

	Tratamientos				Significancia de los contrastes	
	Testigo	DDGS	DDGS + AE	EE	T vs SUPL	DDGS vs DDGS + AE
Peso inicial, kg	282	290	286	3,01	ns	ns
Peso final, kg	288	320	320	2,06	***	ns
Ganancia de peso vivo, kg/día	0,07	0,62	0,62	0,00	***	ns
Suplemento, kg MS/cab/día	-	1,49	1,48	0,12	-	ns
Respuesta a la suplementación, kg/día ¹	-	0,54	0,55	-	-	-
Eficiencia de conversión del suplemento	-	2,83	2,63	0,33	-	ns

Nota. Testigo: testigo sin suplementación; DDGS: suplementación con DDGS; DDGS + AE: suplementación con DDGS + AE: ¹: corresponde a la diferencia entre la ganancia de peso en el tratamiento suplementado y el testigo. Significancia de los efectos: *** P<0.001; ** P<0.01; * P<0.05; ns: P>0.05. EE: error estándar.

Por otro lado, los tratamientos que consumieron DDGS presentaron una ganancia mayor a los testigos, lo que demuestra la eficiencia en el uso de suplemento; pero, por el contrario, al comparar ese valor (0,620 kg/día), es menor debido a la menor oferta de suplemento, siendo inferior al promedio de diversos autores, que presentaron valores en torno a 0,989 kg/día. Cabe aclarar que se utilizaron niveles de suplementación diferentes respecto a la bibliografía, siendo en este experimento el mismo de un 0,5% del peso vivo menor al 1% promedio de los demás experimentos mencionados, ya que el objetivo de este menor nivel de suplementación fue el de ser un medio para el suministro del AE, así como la de obtener resultados acerca de las performance obtenidas con menores niveles de suplementación bajo este tipo de manejos; aun así, con menores niveles de suplementación se lograron valores de respuesta a suplementación mayores (0,545 kg/día) a los alcanzados en trabajos (0,448 kg/día) con suplementación al 1% del PV o en

situaciones *ad libitum* (Acosta et al., 2022; Casanova, 2020; García Borges et al., 2024; Kuchman et al., 2022; Tagliani & Taño, 2021).

Es de destacar los valores de respuesta a la suplementación y eficiencia de conversión obtenidos en este experimento, los cuales denotan cuán eficiente son los animales convirtiendo alimento en peso vivo cuando se les suministra un suplemento como lo es el DDGS, ya que es un suplemento con muy alto contenido de PC. Tales valores siguen la misma línea que los encontrados en diversos trabajos, los cuales presentaban eficiencias de conversión de entre 3,3:1 y 4,3:1 según el caso del experimento, pero todos tenían en común que se utilizaba DDGS como suplemento (Beretta et al., 2019; Simeone et al., 2010, 2022). Vemos como los valores alcanzados por los tratamientos suplementados de este trabajo (2,83 y 2,63 para DDGS y DDGS + AE respectivamente) son mejores aún que los resultados descritos en la bibliografía, y enfatizan la importancia del uso de este suplemento particularmente en las condiciones del verano.

Por su parte, las ganancias de peso entre tratamientos suplementados no difieren significativamente ($P>0,05$), lo que representa que no hay un efecto del AE en mejorar la performance individual animal, esto probablemente atribuible a que no existió un cambio en los indicadores de estrés fisiológico relacionados al confort térmico del animal, que tampoco se vio reflejado en diferencias al respecto del comportamiento ingestivo entre tratamientos; siendo estos resultados distintos a lo presentado por diversos autores (Abulaiti et al., 2021; Blanch et al., 2016; McCarty et al., 2015; Tekippe et al., 2013). Aun así, a pesar de no haber una diferencia significativa ($P>0,05$) en la eficiencia de conversión de los tratamientos suplementados, existe una mejora del 7% a favor del tratamiento que se le suministra el AE, esto probablemente permita motivar a generar nuevas investigaciones relacionadas a uso de AE como aditivos en bovinos de carne.

4.5 DISCUSIÓN GENERAL

Durante el periodo experimental las variables climáticas presentadas coincidieron en gran medida con lo que sería un año típico si lo comparamos con una serie histórica para la misma localidad. Si bien las precipitaciones se encuentran dentro de valores típicos comparados con la serie histórica, para el mes de enero la lluvia ocurrida representó un 33% de lo que en promedio ocurre; esto probablemente hubiera condicionado la calidad del forraje ofrecido a los animales. A su vez, el ITH promedio mensual estuvo por arriba de los valores típicos salvo el mes de marzo, de igual manera, las condiciones de temperatura y

humedad diaria produjeron diferentes combinaciones que fueron predisponentes para que los animales presentaran estrés calórico. La distribución porcentual de días con ITH en las diferentes categorías de riesgo que presenta Eigenberg et al. (2005), fue de 13% normales ($ITH \leq 74$), 28% de alerta ($74 < ITH \leq 79$), 35% de peligro ($79 < ITH \leq 84$) y 23% de emergencia ($ITH > 84$), lo que refleja que el 87% del periodo experimental los animales sufrieron algo de riesgo de estrés calórico, y particularmente el 58% del mismo los animales estuvieron frente a condiciones capaces de generar estrés térmico severo.

Si bien en base a la bibliografía consultada era de esperarse que los animales potenciarán la performance por el efecto de suministrar sombra a los mismo, esto no se vio representado debido a errores que condicionaron la ganancia animal, principalmente atribuidos a la pastura, lo cual se aprecia principalmente en el tratamiento testigo (0,07 kg/d) debido a una limitante de calidad del forraje medido tanto como contenido de proteína (5,18 vs. 11,13 %), así como de digestibilidad (58,55 vs. 63,44 %) en el inicio del periodo experimental y en el consumo de estos por ofertas de forrajes desajustadas para los tres tratamientos. Aun así, se pudo observar un efecto de la suplementación con DDGS en los tratamientos correspondientes, los cuales tuvieron una ganancia promedio superior (0,62 kg/d) a los testigos. Sin embargo, lo que se puede resaltar es la eficiencia de suplemento, dado que se obtienen valores de respuesta a la suplementación similares a los de mayor nivel de suplemento ofrecido, y con valores de eficiencia de conversión de este de en torno a 2,73:1 kg MS/ kg PV.

Por otro lado, si bien se presenciaron condiciones de estrés calórico durante el experimento, el uso de aceites esenciales en este trabajo no resultó en una mejora en la performance, ni en una mejora en el confort térmico del animal, asociado a variables como frecuencia respiratoria (testigo = 64 resp./min.; DDGS = 80 resp./min.; DDGS + AE = 73 resp./min.), temperatura rectal (38,7°C testigo vs. 39,0°C DDGS y DDGS + AE) y score de jadeo (tratamientos suplementados tuvieron mayor % de animales con score de jadeo alto que los animales del tratamiento testigo), y que esto probablemente se deba a que los compuestos utilizados en la mezcla de aceites de este trabajo no son los más destacados en cuanto capacidad vasodilatadora relacionada con mejorar el confort térmico del animal como sí lo es la capsaicina; a su vez, muchos de los efectos están condicionados por el tipo de mezcla de compuestos en particular y la sinergia entre ellos o con la propia dieta, e incluso con el método de ofrecimiento.

5 CONCLUSIONES

Novillos pastoreando sorgo forrajero con una carga de 4,7 UG/ha, en veranos con alta predisposición a sufrir estrés calórico y con acceso a sombra obtienen al menos una ganancia de peso de mantenimiento o superior, pero cuando se le suministra DDGS al 0,5% del PV mejoran en casi 8 veces la GMD (0,070 vs. 0,545 kg/día), asociada a un efecto de adición del suplemento.

El uso de aceites esenciales en presencia de estrés calórico no mejoró la performance individual, ya sea a través de la modificación del comportamiento ingestivo ni en cambios fisiológicos que se vean reflejados en un mejor confort térmico.

6 BIBLIOGRAFÍA

- Abulaiti, A., Ahmed, Z., Naseer, Z., El-Qaliouby, H. S., Iqbal, M. F., Hua, G. H., & Yang, L. G. (2021). Effect of capsaicin supplementation on lactational and reproductive performance of Holstein cows during summer. *Animal Production Science*, 61(13), 1321-1328. <https://doi.org/10.1071/AN20439>
- Acosta, A., Simeone, P., & Ubilla, N. (2022). *Efecto de la suplementación con grano de lupino y su procesamiento sobre la performance de novillos Hereford pastoreando sorgo forrajero durante el verano* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/36673>
- Altamirano, A., Da Silva, H., Durán, A., Echevarría, A., Panario, D., & Puentes, R. (1976). *Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay: Vol. 1. Clasificación de suelos*. MAP.
- Baumgard, L. H., Abuajamieh, M. K., Stoakes, S. K., Sanz-Fernandez, M. V., Johnson, J. S., & Rhoads, R. P. (2014). Feeding and managing cows to minimize heat stress. En M. L. Eastridge (Ed.), *Tri-State Dairy Nutrition Conference* (pp. 63-74). CAB International. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20143239207?>
- Beretta, V., Simeone, A., Casanova, D., Taño, M., Tagliani, E., Burjel, M. V., & Zabalveytia, N. (2019). Suplementación con DDGS en la recría de novillos pastoreando sorgo forrajero: Una ayuda para mejorar la performance animal en una pastura difícil de manejar. En A. Simeone & V. Beretta (Eds.), *21a Jornada anual de la Unidad de Producción Intensiva de Carne: Un medio campo para ganar el partido de la rentabilidad* (pp. 18-27). UPIC.
- Bettolli, M. L., Del Carmen, M. Á. A., Cruz Brasesco, G., Rudorff, F., Martínez Ortiz, A., Arroyo, J., & Armoa, J. (2010). Pastura natural de Salto (Uruguay): Relación con la variabilidad climática y análisis de contextos futuros de cambio climático. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 25(2), 248-259. <https://doi.org/10.1590/S0102-77862010000200009>

- Blanch, M., Carro, M. D., Ranilla, M. J., Viso, A., Vázquez-Añón, M., & Bach, A. (2016). Influence of a mixture of cinnamaldehyde and garlic oil on rumen fermentation, feeding behavior and performance of lactating dairy cows. *Animal Feed Science and Technology*, 219, 313-323. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.07.002>
- Callejo, A. (2014). ¿Cómo combatir el estrés calórico (II)? *Entorno ganadero*, 9(67), 75-83.
- Carámbula, M. (2002). *Pasturas y forrajes: Vol. 1. Potenciales y alternativas para producir forraje*. Hemisferio sur.
- Carámbula, M. (2007). *Verdeos de Verano*. Hemisferio Sur.
- Carrasco, N., Zamora, M., & Melin, A. (Eds.) (2011). *Manual de sorgo*. INTA. https://www.researchgate.net/profile/NataliaCarrasco/publication/327938885_Manual_de_sorgo_Sorghum_handbook/links/5bae2292299bf13e60525872/Manual-de-sorgo-Sorghum-handbook.pdf
- Casanova, D. (2020). *Efecto de la suplementación con DDGS y el encierro diurno sobre el comportamiento productivo de novillos Hereford pastoreando sorgo forrajero* [Tesis de maestría, Universidad de la República]. Colibri. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/30153>
- Castillejos Velázquez, L. (2005). *Modificación de la fermentación microbiana ruminal mediante compuestos de aceites esenciales* [Disertación doctoral, Universitat Autònoma de Barcelona]. TDX. <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/5663/lcv1de1.pdf;sequence=1>
- Chen, K. H., Huber, J. T., Theurer, C. B., Armstrong, D. V., Wanderley, R. C., Simas, J. M., Chan, S. C., & Sullivan, J. L. (1993). Effect of protein quality and evaporative cooling on lactational performance of Holstein cows in hot weather. *Journal of Dairy Science*, 76(3), 819-825. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(93\)77406-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(93)77406-8)

- Cosentino, S., Tuberoso, C. I. G., Pisano, B., Satta, M., Mascia, V., Arzedi, E., & Palmas, F. (1999). In-vitro antimicrobial activity and chemical composition of Sardinian Thymus essential oils. *Letters in applied microbiology*, 29(2), 130-135. <https://doi.org/10.1046/j.1472-765x.1999.00605.x>
- Couto, V. R. M., Paulino, M. F., Valadares Filho, S. D. C., Detmann, E., Porto, M. O., Valente, E. E. L., & Figueiredo, C. B. (2019). Supplementation levels for pre-weaning grazing beef heifers during the rainy-dry transition season. *Semina: Ciências Agrárias*, 40(6Supl3), 3719-3728. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2019v40n6Supl3p3719>
- Cruz, G., & Saravia, C. (2008). Air temperature and humidity index for regionalization of dairy farming in Uruguay. *Agrociencia (Uruguay)*, 12(1), 56-60. <https://doi.org/10.31285/AGRO.12.745>
- da Silva, W. E., Leite, J. H. G. M., de Sousa, J. E. R., Costa, W. P., da Silva, W. S. T., Guilhermino, M. M., & Façanha, D. A. E. (2017). Daily rhythmicity of the thermoregulatory responses of locally adapted Brazilian sheep in a semiarid environment. *International Journal of Biometeorology*, 61(7), 1221-1231. <https://doi.org/10.1007/s00484-016-1300-2>
- Daning, D. A. R., Yusiati, L. M., Hanim, C., & Widyobroto, B. P. (2020). The use of essential oils as rumen modifier in dairy cows. *Indonesian Bulletin of Animal and Veterinary Sciences*, 30(4), 189-200. https://www.researchgate.net/publication/348274233_The_Use_of_Essential_Oils_as_Rumen_Modifier_in_Dairy_Cows
- Davidson, P M. & Naidu, A. S. (2000). Phyto-phenols. En A. S. Naidu (Ed.), *Natural food antimicrobial systems* (pp. 273-302). CRC Press. https://books.google.com.uy/books?id=_rmdPO9BNBcC&dq=Phyto-phenols.+In+Natural+Food+Antimicrobial+Systems.&lr=&hl=es&source=gbs_navlinks_s
- de Blas, C., García-Rebollar, P., Gorrachategui, M., & Mateos, G. G. (2019). *Tablas FEDNA de composición y valor nutritivo de alimentos para la fabricación de piensos compuestos* (4ª ed.). FEDNA.

- Demura, T., & Ye, Z.-H. (2010). Regulation of plant biomass production. *Current Opinion in Plant Biology*, 13(3), 298-303.
<https://doi.org/10.1016/j.pbi.2010.03.002>
- Eigenberg, R. A., Brown-Brandl, T. M., Nienaber, J. A., & Hahn, G. L. (2005). Dynamic response indicators of heat stress in shaded and non-shaded feedlot cattle, part 2: Predictive relationships. *Biosystems Engineering*, 91(1), 111-118.
<https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1192&context=usdaarsfacpub>
- Evans, J. D., & Martin, S. A. (2000). Effects of thymol on ruminal microorganisms. *Current Microbiology*, 41(5), 336-340. <https://doi.org/10.1007/s002840010145>
- Fernández Mayer, A. E., Stuart, R. J., Chongo, B., & Martin, P. C. (2011). Ceba pastoril con sorgos de nervadura marrón o BMR (Brown Middle Rib) como forraje fresco. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 45(3), 251-256.
- Gabard Cabrera, L., & Russi Piccardo, I. (2005). *Efecto de la intensidad de pastoreo en producción y dinámica poblacional de Sorghum sudanense var. Comiray* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri.
<https://hdl.handle.net/20.500.12008/27361>
- Gallarino, H. E. (2008). *Manejo de sorgos forrajeros, su aprovechamiento*. Sitio Argentino de Producción Animal. https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/maiz_sorgo/113-sorgos.pdf
- García Borges, E., Mendez Cor, V. & Nicora Banat, E. (2024). *Efecto de la suplementación con grano de lupino (Lupinus angustifolius) en régimen de autoconsumo sobre la performance de novillos pastoreando sorgo forrajero* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Correcciones bibliográficas de trabajos finales de grado.
<http://tesis.fagro.edu.uy/index.php/tg/catalog/download/301/211/6506?inline=1>
- Giraudó, M. (2003) *Estrés térmico*. Sitio argentino de producción animal.
https://www.produccion-animal.com.ar/clima_y_ambientacion/09-stres.pdf

- Godyń, D., Herbut, P., & Angrecka, S. (2019). Measurements of peripheral and deep body temperature in cattle: A review. *Journal of thermal biology*, 79, 42-49. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2018.11.011>
- Hafez, E. S. E., & Dyer, I. A. (1972). *Desarrollo y nutrición animal*. Acribia.
- Haydock, K. P., & Shaw, N. (1975). The comparative yield method for estimating dry matter yield of pasture. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*, 15(76), 663-670. <https://doi.org/10.1071/EA9750663c>
- Idris, M., Uddin, J., Sullivan, M., McNeill, D. M., & Phillips, C. J. C. (2021). Non-invasive physiological indicators of heat stress in cattle. *Animals*, 11(1), Artículo e71. <https://doi.org/10.3390/ani11010071>
- Indu, S., & Pareek, A. (2015). A review: Growth and physiological adaptability of sheep to heat stress under semi-arid environments. *International Journal of Emerging Trends in Science and Technology*, 2(9), 3188-3198. <https://ijetst.in/index.php/ijetst/article/view/922>
- Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria & Instituto Nacional de Semillas. (2021). *Resultados experimentales de la evaluación nacional de cultivares de sorgo forrajero*. https://www.inia.org.uy/convenio_inase_inia/Evaluacion_CV/A_no2020/PubSorgoForrajeroPeriodo2020.pdf
- Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria & Instituto Nacional de Semillas. (2022). *Resultados experimentales de la evaluación nacional de cultivares de sorgo forrajero*. https://www.inia.org.uy/convenio_inase_inia/Evaluacion_CV/A_no2021/PubSorgoForrajeroPeriodo2021.pdf
- Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria & Instituto Nacional de Semillas. (2023). *Resultados experimentales de la evaluación nacional de cultivares de sorgo forrajero*. https://www.inia.org.uy/convenio_inase_inia/Evaluacion_CV/A_no2022/PubSorgoForrajeroPeriodo2022.pdf

- Kamal, R., Dutt, T., Patel, M., Dey, A., Bharti, P. K., & Chinnakkan Chandran, P. (2018). Heat stress and effect of shade materials on hormonal and behavior response of dairy cattle: A review. *Tropical Animal Health and Production*, 50(4), 701-706. <https://doi.org/10.1007/s11250-018-1542-6>
- Karish, B., & Parish, J. (2023). *Beef cattle nutrient requirements*. Mississippi State University Extension Service. <https://extension.msstate.edu/publications/beef-cattle-nutrient-requirements>
- Koga, A., Kuhara, T., & Kanai, Y. (2002). Comparison of body water retention during water deprivation between swamp buffaloes and Friesian cattle. *The Journal of Agricultural Science*, 138(4), 435-440. <https://doi.org/10.1017/S0021859602002174>
- Kuchman, F., Mattos, G., & Thevenet, J. A. (2022). *Impacto productivo del acceso a sombra en la parcela de pastoreo de sorgo forrajero tendiente a mitigar el efecto del estrés por calor en novillos Hereford* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/32785>
- Latimer, G. W. (Ed.). (2012). *Official methods of analysis of AOAC International* (19th ed., Vol. 1). AOAC International.
- Lattanzi, F., Jauregui, J., Michelini, D. F., Chilibroste, P., Reyno, R., & Weiszmann, M. (2022). Resistencia productiva de pasturas largas en veranos con escenarios niña. *Revista INIA*, (71), 17-20. <http://ainfo.INIA.uy/digital/bitstream/item/16919/1/Persistencia-Lattanzi.pdf>
- Mader, T. L., Davis, M. S., & Brown-Brandl, T. (2006). Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, 84(3), 712-719. <https://doi.org/10.2527/2006.843712x>
- Mader, T. L., Holt, S. M., Hahn, G. L., Davis, M. S., & Spiers, D. E. (2002). Feeding strategies for managing heat load in feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, 80(9), 2373-2382. <https://doi.org/10.1093/ansci/80.9.2373>

- Mattiauda, D. A., Tamminga, S., Gibb, M. J., Soca, P., Bentancur, O. & Chilbroste, P. (2013). Restricting access time at pasture and time of grazing allocation for Holstein dairy cows: Ingestive behaviour, dry matter intake and milk production. *Livestock Science*, 152(1), 53-62. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2012.12.010>
- McCarty, M., DiNicolantonio, J., & O'Keefe, J. (2015). Capsaicin may have important potential for promoting vascular and metabolic health. *Open Heart*, 2(1), Artículo e000262. <https://openheart.bmj.com/content/2/1/e000262>
- Rashamol, V. P., Sejian, V., Bagath, M., Krishnan, G., Archana, P. R., & Bhatta, R. (2018). Physiological adaptability of livestock to heat stress: An updated review. *Journal of Animal Behaviour and Biometeorology*, 6(3), 62-71. <https://doi.org/10.31893/2318-1265jabb.v6n3p62-71>
- Ratnakaran, A. P., Sejian, V., Jose, V. S., Vaswani, S., Bagath, M., Krishnan, G., Beena, V., Indira, D. P., Varma, G., & Bhatta, R. (2017). Behavioral responses to livestock adaptation to heat stress challenges. *Asian Journal of Animal Sciences*, 11(1), 1-13. <https://doi.org/10.3923/ajas.2017.1.13>
- Renaudeau, D., Collin, A., Yahav, S., de Basilio, V., Gourdine, J. L., & Collier, R. J. (2012). Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production. *Animal*, 6(5), 707-728. <https://doi.org/10.1017/S1751731111002448>
- Rovira, P., & Do Carmo, M. (2012). Evolución de las principales variables climáticas relacionadas al estrés calórico en la serie histórica 1973-2010. En P. Rovira (Ed.), *Uso de la sombra en la recría de novillos en sistemas pastoriles de la región este del Uruguay* (pp. 13-17). INIA. <https://ainfo.INIA.uy/digital/bitstream/item/7514/1/St-202-p.13-17.pdf>
- Rovira, P., & Echeverría, J. (2013). Desempeño productivo de novillos pastoreando sudangrass o sorgo forrajero nervadura marrón (BMR) durante el verano. *Revista Veterinaria*, 24(2), 91-96. <https://doi.org/10.30972/vet.242620>
- Sejian, V., Bhatta, R., Gaughan, J. B., Dunshea, F. R., & Lacetera, N. (2018). Review: Adaptation of animals to heat stress. *Animal*, 12(2), s431-s444. <https://doi.org/10.1017/S1751731118001945>

- Simeone, A., & Beretta, V. (2022). Tecnologías de producción para la recría y el engorde de ganado de carne durante el verano ¿Cuáles son las certezas? En M. Minteguiaga & R. Delpiazzo (Eds.), *XLIX Jornadas Uruguayas de Buiatría* (pp. 60-68). CMVP. https://bibliotecadigital.fvet.edu.uy/bitstream/handle/123456789/3109/JB2022_61-69.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Simeone, A., Beretta, V., & Caorsi, C. J. (2010). Efecto de la sombra natural sobre la performance estival de vaquillonas pastoreando campo natural de áreas forestadas. *Agrociencia (Uruguay)*, 14(3), 137. <https://doi.org/10.31285/AGRO.14.800>
- Simeone, A., Beretta, V., Saravia, C., Kuchman, F., Mattos, G., Thevenet, J., Burjel, V. & Zabalveytia, N. (2022). Utilización de sombras móviles en el pastoreo de sorgo forrajero con novillos: Impacto sobre la performance animal. En A. Simeone & V. Beretta (Eds.), *23a Jornada anual de la Unidad de Producción Intensiva de Carne: Haciendo cuentas: Los números de la cría y la invernada, con buenos y malos precios* (pp. 16-23). UPIC.
- Smith-Palmer, A., Stewart, J., & Fyfe, L. (1998). Antimicrobial properties of plant essential oils and essences against five important food-borne pathogens. *Letters in Applied Microbiology*, 26(2), 118-122. <https://doi.org/10.1046/j.1472-765X.1998.00303.x>
- St-Pierre, N. R., Cobanov, B., & Schnitkey, G. (2003). Economic losses from heat stress by US livestock industries. *Journal of Dairy Science*, 86(1), E52-E77. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)74040-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)74040-5)
- Tagliani, E., & Taño, M. (2021). *Estrategias de manejo del pastoreo y respuesta a la suplementación en novillos pastoreando sorgo forrajero* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/32003>
- Tekippe, J. A., Tacoma, R., Hristov, A. N., Lee, C., Oh, J., Heyler, K. S., Cassidy, T. W., Varga, G. A., & Bravo, D. (2013). Effect of essential oils on ruminal fermentation and lactation performance of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 96(12), 7892-7903. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7128>

- Valtorta, S., & Gallardo, M. (1996). Temas de producción lechera: El estrés por calor en la producción lechera. *Publicación Miscelánea*, (81), 173-185.
- van Keulen, J., & Young, B. A. (1977). Evaluation of acid-insoluble ash as a natural marker in ruminant digestibility studies. *Journal of Animal Science*, 44(2), 282-287. <https://doi.org/10.2527/jas1977.442282x>
- Van Soest, P. J., Robertson, J. B., & Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74(10), 3583-3597. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)
- Wells, C. W. (2024). Effects of essential oils on economically important characteristics of ruminant species: A comprehensive review. *Animal Nutrition*, 16, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2023.05.017>